

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИКИ ТА АКУСТОЕЛЕКТРОНІКИ**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Дідковський В.С.
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

Зі спеціальності (спеціалізації) 171 “Електроніка”

на тему: Електронний генератор для ультразвукових технологічних апаратів

Виконав: студент VI курсу, групи ДГ-72мп

Савчук Вадим Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доц. каф. А та АЕ к.т.н. Дрозденко О.І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України

**«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки

Кафедра акустики та акустoeлектроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 171“Електроніка”
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дідковський В.С.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2018р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Савчуку Вадиму Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Електронний генератор для ультразвукових технологічних апаратів

науковий керівник дисертації Дрозденко Олександр Іванович к.т.н., доц.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018 р. №4114с.

2. Строк подання студентом дисертації 08.12.2018р.

3. Об'єкт дослідження Ультразвуковий електронний генератор

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за

освітньо-професійною програмою) частотний діапазон 18-66 кГц, потужність 10 кВт, додаткові функції: автопідлаштування частоти та блок узгодження генератора з коливальною системою.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести аналітичний огляд літератури, розробити структурну схему генератора, проаналізувати варіанти АПЧ та схеми узгодження генератора з коливальною системою, проведення моделювання, підбиття підсумків по роботі.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу презентація в Power Point

7. Дата видачі завдання 01.09.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Збір та вивчення джерел інформації для написання дипломної роботи; складання бібліографії наукових джерел	01-30.09.2018	
2	Складання плану дипломної роботи	1.10-06.10.2018	
3	Огляд сучасних електронних генераторів та областей їх застосування	07-20.10.2018	
4	Розробка генератора на структурному рівні.	21.10-03.11.2018	
5	Технічна реалізація генератора.	04-10.11.2018	
6	Розробка стартап-проекту	10-15.11.2018	
7	Написання анотації, вступу та висновків	15-17.11.2018	
8	Виправлення зауважень	19-30.11.2018	
9	Оформлення дипломної роботи	01-08.12.2018	
10	Здача оформленої роботи на кафедру	08.12.2018	
11	Захист дипломної роботи	18.12.2018	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація містить основну частину на 77 аркушах, 33 ілюстрацій, 4 таблиці та 19 посилань на літературу.

Метою наукового дослідження є розробка електронного генератора для ультразвукових технологічних апаратів.

Об'єктом дослідження є УЗ електронний генератор.

Предметом дослідження є забезпечення ефективної роботи УЗ генератора в умовах зміни акустичного навантаження.

Результатом роботи є:

- дослідження принципу будови та роботи електронних генераторів;
- розробка структурної схеми генератора;
- дослідження та моделювання схемних рішень електричного узгодження генератора та коливальної системи.

Галузь застосування: ультразвукові технологічні апарати, технічна акустика.

Ключові слова: *ультразвуковий генератор, коливальна система, автопідлаштування, узгодження.*

ANNOTATION

The master's dissertation contains the main part on 77 sheets, 33 illustrations, 4 tables and 19 references to literature.

The purpose of scientific research is to develop an electronic generator for ultrasonic process equipment.

The object of the study is an ultrasonic electronic generator.

The subject of the research is to ensure the effective operation of the UZ generator in conditions of acoustic load change.

The result of the work is:

- research on the principle of the structure and operation of electronic generators;
- development of the structural scheme of the generator;
- research and modeling of circuit decisions of electrical harmonization of the generator and oscillatory system.

Field of application: ultrasonic technological apparatuses, technical acoustics.

Key words: *ultrasonic generator, oscillatory system, auto-alignment, coordination.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	10
1.1. Актуальність розробки УЗГ для УЗТА	10
1.2. Області застосування приладів та апаратів з УЗГ	16
1.3. Сучасні УЗГ. Технічні характеристики, особливості, додаткові функції.....	18
1.4. Висновки до Розділу 1	25
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ УЗГ ДЛЯ УЗТА.....	26
2.1. Особливості функціонування УЗГ	26
2.2. Аналіз структурних схем побудови УЗ апаратів	31
2.3. Система АПЧ. Види та алгоритм роботи системи АПЧ в УЗГ	34
2.4. Фазове автопідлаштування частоти	37
2.5. Необхідність узгодження УЗГ з КС	40
2.6. Розробка структурної схеми генератора	45
2.7. Висновок до Розділу 2.....	48
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ.....	49
3.1. Розрахунок стержневого перетворювача	49
3.1.1. Вихідні дані необхідні для розрахунку.....	49
3.1.2. Розрахунок розмірів перетворювача.	50
3.1.3. Розрахунок елементів армуючого пристрою.....	52
3.1.4. Визначення максимальної амплітуди коливальної швидкості. ...	53
3.1.5. Визначення електричних параметрів перетворювача.....	54
3.2. Розрахунок окремих вузлів генератора.....	55

3.2.1. Розробка регулятора напруги	55
3.2.2. Розробка фазового автопідлаштування частоти.....	56
3.2.3. Розробка підсилювача потужності.	58
3.3. Розрахунок різних схем узгодження.....	60
3.3.1. Розрахунок та моделювання схеми з додатковою індуктивністю та ємністю	62
3.3.2. Розрахунок та моделювання схеми з додатковою індуктивністю	66
3.3.3. Розрахунок та моделювання схеми з додатковими послідовним на паралельним коливальними контурами.....	68
3.4. Загальна електрична принципова схема УЗГ.....	71
3.5. Висновки до Розділу 3	73
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ	74
ВИСНОВКИ	79
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	80
<i>Додаток А</i>	<i>83</i>
<i>Додаток Б.....</i>	<i>85</i>
<i>Додаток В</i>	<i>87</i>

ВСТУП

Застосування ультразвукових коливань високої інтенсивності для інтенсифікації різних фізико-хімічних процесів є перспективним напрямком на шляху розвитку і вдосконалення нових технологій і матеріалів. Основними параметрами, що визначають ефективність УЗ впливу на різні технологічні середовища, є акустична потужність, інтенсивність УЗ коливань і частота, які в свою чергу визначаються параметрами і характеристиками джерел акустичних коливань і параметрами оброблюваних середовищ.

Ультразвуковий генератор є одним з найважливіших компонентів ультразвукового технологічного апарату, він забезпечує живлення ультразвукової коливальної системи підтримуючи оптимальний режим її роботи. Для удосконалення ультразвукових технологій необхідне вдосконалення ультразвукових генераторів.

Метою даної магістерської дисертації є розробка універсального електронного генератора. З основних додаткових функцій слід відмітити: автопідлаштування частоти та електричне узгодження ультразвукового генератора з коливальною системою. Оскільки умова резонансу п'єзокерамічного перетворювача може змінюватися з різних причин, то саме завдяки цим функціям генератор можна використовувати з максимальною ефективністю.

У першому розділі було проведено аналітичний огляд технічної літератури, розглянуто області застосування ультразвукових генераторів та приклади сучасних УЗГ.

У другому розділі розглянуті особливості побудови генераторів, їх схемні рішення. Були проаналізовані види систем АПЧ та необхідність використання систем узгодження.

У третьому розділі був розрахований стержневий п'єзокерамічний перетворювач з робочою частотою 22 кГц. Також були розраховані та

змодельовані схеми електричного узгодження УЗГ з КС, блок фазового автопідлаштування. Розроблена електрична принципова схема генератора.

У четвертому розділі було розроблено стартап-проект даного електронного генератора.

Після виконаної роботи можна сказати, що тема магістерської дисертації є актуальною, оскільки ультразвукові технології стають все більше поширенішими, а ультразвукові генератори з даними додатковими функціями більше затребуванішими.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1. Актуальність розробки УЗГ для УЗТА

Застосування ультразвукових коливань високої інтенсивності для інтенсифікації різних фізико-хімічних процесів є перспективним напрямком на шляху розвитку і вдосконалення нових технологій і матеріалів. Основними параметрами, що визначають ефективність УЗ впливу на різні технологічні середовища, є акустична потужність, інтенсивність УЗ коливань і частота, які в свою чергу визначаються параметрами і характеристиками джерел акустичних коливань і параметрами оброблюваних середовищ.

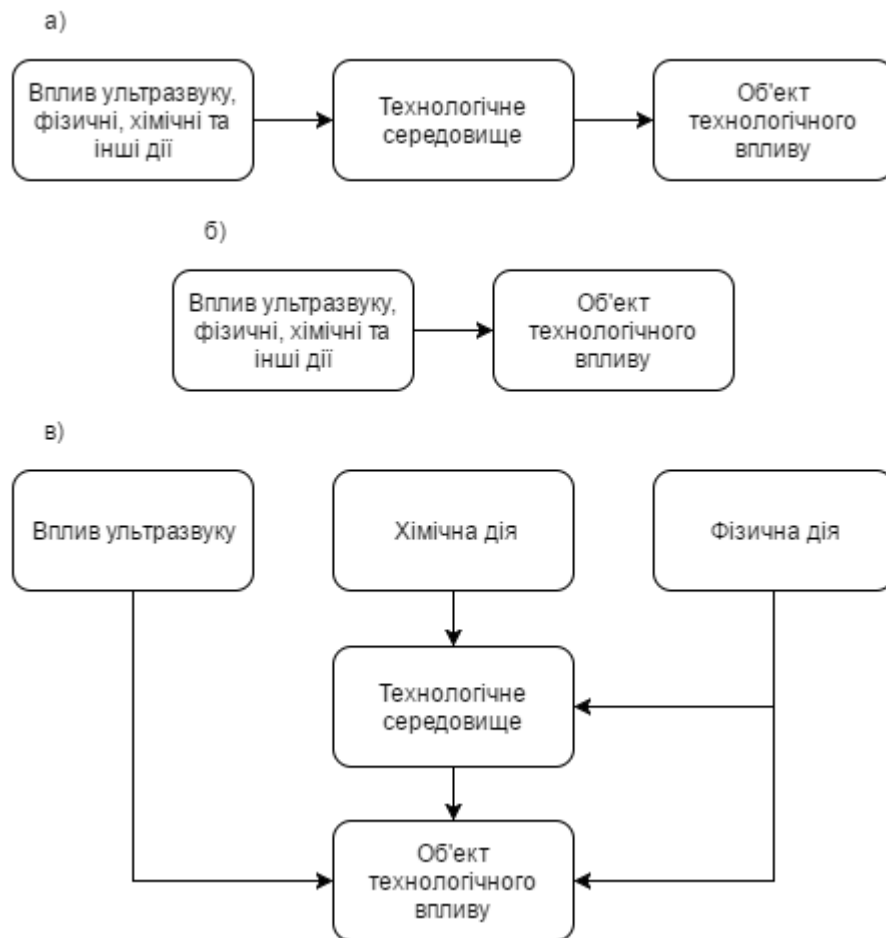
Різноманіття технологічних задач, де доцільно застосування ультразвуку, фізико-хімічні особливості інтенсифікують процесів, однозначно визначають параметри УЗ коливань для різних технологій [1].

Будь-яка ультразвукова установка являє собою комплекс, що складається з одного або декількох ультразвукових генераторів, призначених для перетворення енергії струму промислової частоти в енергію струму високої частоти, ультразвукових перетворювачів, що перетворюють енергію струму високої частоти в енергію механічних коливань, і технологічного пристрою, в якому енергія механічних коливань активно впливає на оброблюваний об'єкт.

У загальному випадку можна уявити три варіанти ультразвукових установок, що класифікуються по типу впливу ультразвуку на технологічне середовище [2].

На рис. 1.1.а розглянута схема обробки об'єкта технологічного впливу через проміжне технологічне середовище, що служить передавальною ланкою між джерелами впливу і об'єктом впливу. Така схема відноситься до технологічних процесів, які здійснюються в рідкій фазі. Як приклади для

даного випадку можуть служити процеси ультразвукового очищення, гальванічні процеси із застосуванням ультразвуку, диспергування і т.п.



а) Обробка об'єкта УЗ через технологічне середовище; б) Безпосередній вплив УЗ на об'єкт; в) Комбінований вплив

Рис. 1.1. Схема впливу різних чинників на об'єкт технологічного впливу при УЗ технології.

У другій схемі (рис. 1.1.б) вплив відбувається безпосередньо на об'єкт, без використання проміжного технологічного середовища. Такі процеси відбуваються при впливі на тверду фазу, а іноді і на рідку, наприклад ультразвукове зварювання, зняття залишкових напруг після термічної обробки металу, дегазація розплавів і т.д.

На практиці застосування ультразвуку можуть бути комбіновані схеми впливу, тобто і на об'єкт і на середовище, як, зокрема, показано на рис. 1.1.в. Дану схему може проілюструвати очищення виробів при їх контактному збудженні ультразвуком, механічна обробка ріжучим інструментом, в якому збуджуються ультразвукові коливання, і т.п.

Розглянута класифікація представляє поділ ультразвукових установок за схемою впливу ультразвуку на об'єкт технологічної обробки. Крім того, ультразвукові установки можуть бути класифіковані по областях застосування (очищення, механічна обробка, ультразвукове зварювання, диспергування, емульгування і т.д.), і конструктивного оформлення обладнання, пов'язаного з характером обслуговування. В останньому випадку установки можуть поділятися на автоматизовані, напів-автоматизовані, з ручним обслуговуванням і з застосуванням малої механізації.

З точки зору використання ультразвукових установок в загальному циклі виробництва вони можуть поділятися на установки з індивідуальним виконанням і установки, що вбудовуються в потокові лінії, агрегати і т.п.

За своїми технічними можливостями ультразвукові установки можуть бути універсальні і спеціалізовані. Універсальні розраховані на виробництво операцій над значною номенклатурою оброблюваних виробів, а спеціалізовані призначені для обробки певного виду виробу або групи однотипних виробів.

Створення універсальних ультразвукових установок майже не представляється можливим, оскільки кожен технологічний процес з використанням ультразвукових коливань безпосередньо в будь-яких середовищах має ряд специфічних особливостей. Ці особливості в основному визначаються різними конструктивними формами технологічних пристроїв, що перетворюють електромагнітні коливання ультразвукової частоти в механічні безпосередньо в твердих або рідких середовищах. Різноманітність конструктивних форм ультразвукових технологічних пристроїв призводить

до істотного відмінності їх електричних параметрів і енергетичних характеристик. Конструкції ж ультразвукових технологічних пристроїв в основному визначаються тим процесом, для здійснення якого вони призначаються [2].

Найбільш масове і добре себе зарекомендували у багатьох галузях промисловості є пристрої у вигляді ванн з рідкими миючими середовищами з введеними в них ультразвукових коливань, створюваними магнітострикційними і п'єзокерамічними перетворювачами пакетного типу. Через недостатню амплітуду коливання від перетворювачів пакетного виду для зварювання різних матеріалів, розмірної обробки та інших технологічних процесів, що вимагають більшої концентрації енергії, доводиться застосовувати спеціальні концентратори енергії з різними типами хвилеводів.

Всі види електроакустичних перетворювачів, які використовуються при частотах від 18 до 28 кГц і працюють в різних системах коливальних контурів, вимагають спеціальних джерел живлення. Серед них заслуговують на увагу електромашинні генератори безпосереднього використання або в комплекті зі статичним електромагнітним помножувачем. Їх застосування при потужностях понад 10 – 20 кВт може відбутися лише за умови створення нових агрегатів, що мають ККД понад 60 – 70 % і допускають деяке підстроювання частоти генератора до резонансної частоти магнітострикційних перетворювачів.

Лампові генератори на електронних лампах з автопідлаштуванням частоти при частотах струму більше 18 кГц і потужності більш 5 – 10 кВт знаходять застосування в промисловості.

При потужності ультразвукових установок до 2,5 кВт дуже перспективні джерела живлення на транзисторах, а при потужності 4 і більше кВт – на тиристорах. У міру поліпшення якості напівпровідникових керованих приладів розвиток ультразвукових технологічних установок з їх застосуванням стає все більш імовірним [2].

Ефектність ультразвукових впливів на різні технологічні процеси підтверджена [3] численними дослідженнями і досвідом більш ніж тридцятирічного застосування ультразвукових технологій на ряді підприємств різних галузей промисловості, що дозволили встановити наступне:

- 1) Ультразвукові коливання високої інтенсивності забезпечують 10 ... 1000 кратне прискорення процесів, що протікають між рідкими і рідкодисперсними середовищами (розчинення, очищення, дегазація, просочення, емульгування, екстрагування, кристалізація, полімеризація, запобігання утворенню накипу, та ін.). При цьому не тільки збільшується вихід корисних продуктів (наприклад, екстрактів), але і, в ряді випадків, надаються додаткові властивості (наприклад, біологічна активність і стерильність). Крім того, вдається отримати речовини з новими властивостями (наприклад, тонкодисперсні емульсії і суспензії).
- 2) Вплив ультразвукових коливань на тендітні тверді матеріали дозволяє здійснювати технологічні процеси, котрі практично не реалізуються традиційними методами - розмірну обробку (свердління, зняття фасок, виконання пазів) таких матеріалів, як кераміки, напівпровідникові матеріали, скло, самоцвіти, ферити і т.п.
- 3) Ультразвукові коливання дозволяють інтенсифікувати багато процесів, що відбуваються на лінії контакту матеріалів (зварювання металів і полімерних матеріалів, склеювання), прискорюючи технологічні процеси і підвищуючи якість одержуваних виробів [3].

Безперечні і унікальні переваги ультразвукових технологій повинні були забезпечити їх широке використання при вирішенні складних проблем сучасних виробництв, орієнтованих на випуск конкурентоспроможної продукції. Однак, зазначені вище переваги ультразвукових технологій, до теперішнього часу майже не відомі і не використовуються в практичній виробничій і побутової діяльності громадян. Причин тому кілька:

До не давнього часу ультразвукові апарати виготовлялися з електронних компонентів низького ступеня інтеграції, а випромінюють елементи і хвилеводи представляли собою складні конструкції на основі магнітострикційних матеріалів, що вимагають примусового охолодження. Потужні генератори що використовувалися у виробничій практиці ультразвукових коливань мали дуже низький ККД (3 – 5 %) і під час роботи створювали навколо себе шкідливі паразитні випромінювання (акустичні та електромагнітні), непорівнянний з корисними впливами.

1) Мале поширення ультразвукових технологій було обумовлено тим, що був відсутній ринок споживачів малогабаритних ультразвукових апаратів, і тільки ринковий розвиток економіки стимулювало появу безлічі малих підприємств з переробки рослинної сировини і обробці матеріалів, успішна діяльність яких в значній мірі залежить від ефективності використовуваних технологій.

2) Широке впровадження ультразвукових технологій в життя і побут людини стримувалося відсутністю методичного забезпечення, що регламентує застосування ультразвукових технологій і апаратури в промисловості і побутових умовах. Особливо гостро відчувалася відсутність досліджень і рекомендацій по нетрадиційного застосування ультразвукових технологій (наприклад, при приготування соків, емульсій, сумішей, засолюванні м'яса, риби, екстракції, зварювання лінолеуму, знежирення, свердління отворів в крихких матеріалах, та ін.), а також рекомендацій, враховують особливості застосування ультразвукових технологій в умовах малих виробництв, сільському і домашньому господарстві.

3) Реалізація ультразвукових технологій і застосування ультразвукових апаратів обмежувалося відсутністю комплексного підходу до вимірювань параметрів апаратури, технологічних процесів і готової продукції, здатного забезпечити оптимальне налаштування апаратів і максимальну ефективність ультразвукових впливів на оброблювані середовища [3].

З вище викладеного очевидно, що перспективний шлях інтенсифікації різних технологічних процесів з допомогою ультразвукових коливань високої інтенсивності повинен отримати подальший розвиток, і повинен бути реалізований в мало енергозатратних, високоефективних ультразвукових апаратів, поширений на сучасні малі підприємства і доведений до індивідуального споживача, зокрема розвиток основного складового елементу - ультразвукового генератора.

Ультразвукові технологічні апарати все більше і більше знаходять собі застосування для різних технологічних процесів, що і підвищує попит на удосконалення ультразвукових технологічних апаратів, включаючи ультразвукові генератори.

1.2. Области застосування приладів та апаратів з УЗГ

Сучасний розвиток ультразвукової техніки відкриває широкі можливості для застосування ультразвуку при інтенсифікації різних технологічних процесів.

Теоретичні та експериментальні дослідження з питань технологічного застосування ультразвуку, створили необхідні умови для розробки і виробництва ультразвукового устаткування різного призначення, а серійний випуск ультразвукових генераторів і електроакустичних перетворювачів забезпечив впровадження ультразвуку в різні галузі народного господарства.

Найбільш широкого поширення набули процеси із застосуванням ультразвуку, що протікають в рідинах. Знаходять застосування і процеси, пов'язані з впливом ультразвукових коливань на тверде тіло.

Ультразвук широко застосовується для очищення виробів в різних виробництвах. Це найбільш значна область застосування ультразвуку, так як крім поліпшення якості очищення і підвищення продуктивності процесу

ультразвук з'являється можливість видалити забруднення, які іншими методами, не видаляються [2].

Цей перелік не обмежує області застосування ультразвуку, які можуть бути значно розширена за рахунок розробки нових напрямків розвитку ультразвукової техніки [2].

Нижче у таблиці 1.1. наведені області застосування ультразвукових приладів.

Таблиця 1.1. Области застосування УЗТ

Процеси в яких використовують УЗТ	Приклади використання УЗТ
Процеси що відбуваються в рідинах	Очищення виробів в різних виробництвах; прання текстильних виробів; полірування дрібних заусенців, після металевої обробки
Обробка твердих і крихких матеріалів	УЗ зварювання металів, пластмас і різних синтетичних матеріалів; УЗ пайка і лужіння матеріалів з окисними плівками і кераміки
Будівельна техніка	Інтенсифікації процесу приготування в'язучих речовин, компаундів, барвників; емульгування важко змішуваних складів; інтенсифікації гальванічних процесів і поліпшення якості покриттів, одержуваних електрохімічним способом
Металургія	Дегазації розплавів, для поліпшення структури під час безперервного розливання сталей, для інтенсифікації процесів прокатки і волочіння; свердління отворів будь-якої форми; здійснювати гвинтову нарізку
Медицина	Застосовують для візуалізації стану внутрішніх

	органів людини; застосовують для лікування; косметологічні процедури; УЗ масаж
Біологія	Різні дослідження, впливу УЗ на живі організми

Перелік областей де застосовують ультразвукові технології досить широкий, і цей перелік досить активно розширюється з удосконаленням існуючих технологій, та появою нових, де застосовують ультразвук.

1.3. Сучасні УЗГ. Технічні характеристики, особливості, додаткові функції

На теперішній час ринок сучасних УЗ генераторів досить таки великий. Це пов'язано з великим спектром застосування даних приладів.

Сучасний ультразвуковий технологічний апарат складається з ультразвукової коливальної системи, коливання якої створюються за допомогою п'єзокерамічних елементів, що входять до її складу, і електронного генератора, який виробляє електричну напругу ультразвукової частоти необхідної амплітуди для живлення ультразвукової коливальної системи [4].

Ультразвукові генератори призначені для перетворення струму промислової частоти в струм високої частоти і застосовуються для живлення електроакустичних перетворювачів. За типом перетворювача вони діляться на лампові, напівпровідникові (транзисторні та тиристорні) і машинні.

В даний час нові ультразвукові генератори виконуються в основному на напівпровідникових приладах - транзисторах і тиристорах. У промисловості є ряд генераторів старих моделей на електронних лампах. Розрахунок лампових генераторів для ультразвукових частот майже не відрізняється від розрахунку генераторів для радіопередавальних пристроїв. Застосування тиристорних інверторів як джерела живлення електроакустичних

перетворювачів поки обмежена через низьких частотних властивостей тиристорів і складності схеми управління, внаслідок чого їх переваги перед транзисторними генераторами проявляються лише при великій вихідній потужності (вище 4 кВт). Найбільш широко в даний час застосовуються ультразвукові генератори на транзисторах. Так як параметри транзисторів безперервно поліпшуються, вони є найбільш перспективними приладами і для нових розробок ультразвукових генераторів [2].

За схемним рішенням лампові, транзисторні та тиристорні генератори можуть бути з незалежним збудженням, з самозбудженням, з електричною або акустичним автопідлаштуванням частоти. Машинні генератори (машинні перетворювачі, що виробляють потрібну робочу частоту) підключаються до навантаження або безпосередньо, або з помножувачем частоти, що дозволяє підвищити робочу частоту перетворювача в ціле число раз.

За своїми технічними можливостями ультразвукові генератори можуть бути універсального застосування і спеціалізовані. Універсальні розраховані на роботу з різними технологічними пристроями, допускають широку варіацію вихідних параметрів (потужності, частоти, напруги і т.п.) Та умов погодження з навантаженням. Спеціалізовані розраховані на живлення однієї або декількох певних навантажень. Ці генератори мають незмінні вихідні параметри (фіксовану робочу частоту, постійну вихідну потужність і т.д.).

Універсальні генератори призначені для використання в лабораторіях, на досвідчених виробництвах і при живленні пристроїв, де потрібна широке регулювання параметрів технологічного впливу (наприклад, при механічній обробці, ультразвуковому зварюванні і т.п.). При застосуванні ультразвуку в масовому виробництві, де вихідні параметри генератора залишаються незмінними, кращі спеціалізовані ультразвукові генератори, наприклад при ультразвуковому очищенні, диспергування, в гальванічних процесах і ін. [2]. Був проведений аналіз існуючих ультразвукових генераторів з різними характеристиками (таблиця 1.2.).

Таблиця 1.2. Технічні характеристики сучасних УЗ генераторів

Назва УЗГ	ПГ-2000К	УЗГ-10	ПНУ-ТОП	УЗГ-641А
Робоча частота, кГц	28	10-60	6-25	18-44
Потужність, кВт	2	10	5,10	0,4
Вихідна напруга, В	220	250-660	140-500	50-800
Ціна, грн		130 000		
Габарити, мм	160x360x500	250x600x600	620x320x530	80x200x300
Маса, кг		45	60	2,5

Ультразвуковий генератор ПГ-2000К (рис. 1.2.) призначений для прискорення процесів екстракції в водно-спиртової суміші рослинних матеріалів, очищення виробів від масел, емульсій та інших технологічних забруднень, підготовка виробів до подальших технічних процесів гальванічного покриття і вакуумного напилення [5].



Рис. 1.2. Зовнішній вигляд ультразвукового генератора ПГ-2000К

Генератори серії УЗГ-10 (рис. 1.3.) призначені для живлення ультразвукового навантаження загальною потужністю 10 кВт. Генератор має низький вихідний внутрішній опір, що дає широкі можливості по узгодженню з ультразвуковою акустикою, що має різну добротність.



Рис. 1.3. Зовнішній вигляд УЗГ-10

Найбільш широке застосування ультразвукові генератори серії 10 кВт знайшли для заміни старих лампових генераторів УЗГ-2-10 і тиристорних УЗГ-3-10, широко використовуваних з промисловими ультразвуковими ваннами типу УЗВ-18 об'ємом 200 літрів. Для роботи з ультразвуковими ваннами УЗВ-200 в генераторах реалізована функція управління нагрівом ванни з підтримкою температури на заданому рівні. Завдяки розвиненій схемі узгодження до генератора УЗГ-10 можна підключити до чотирьох магнітострикційних електроакустичних перетворювачів, наприклад ПМС-6-

22 або ПМС-38. Паралельне підключення декількох електроакустичних перетворювачів до одного генератору потрібно для синхронної роботи, що неможливо при підключенні випромінювачів до кількох генераторів меншої потужності. Характерною особливістю даної моделі є простота і компактність конструкції, генератор складається з однієї силової комірki на одному потужному інверторі, це дозволяє йому працювати з одним випромінювачем потужністю 10 кВт, що неможливо реалізувати за допомогою двох генераторів потужністю 5 кВт.

Генератори серії УЗГ-10 мають модифікації УЗГ-10С, які успішно використовуються при роботі на нафтових свердловинах. Широке застосування знайшла технологія акустичного впливу на нафтоносний пласт, як один з вторинних методів інтенсифікації видобутку нафти [6].

Генератор напруги «Резонанс» (рис. 1.4.) (умовне позначення ПНУ-ТОП), призначений для живлення магнітострикційних і / або п'єзокерамічних перетворювачів, вбудованих в різне технологічне обладнання, для використання в процесах очищення, знежирення, ультразвукової обробки розплаву в процесі кристалізації при безперервному литті легких сплавів та інші технологічні процесів з впливом ультразвуку. Відмінною рисою генератора є здатність автоматичної настройки та утримання резонансу в високодобротні контурі навантаження. Точність настройки в діапазоні 6-25 кГц становить 0,1 Гц.



Рис. 1.4. Зовнішній вигляд генератора напруги «Резонанс»

Додаткові функції:

- система управління забезпечує автопідлаштування частоти (АПЧ) для досягнення резонансу;
- включення / відключення функції автопідстроювання частоти;
- захист від перевантаження по струму;
- захист від струму короткого замикання;
- підключення дистанційного пульта управління;
- сигналізація наявності живлячої напруги, готовність до роботи;
- сигналізації аварійної ситуації;
- передбачені клеми підключення засобів вимірювальної техніки, для проведення перевірки точності підтримки робочої частоти і часу таймера;
- дискретні входи: зовнішня аварія, генератор пуск, генератор стоп;
- релейний вихід сигналу аварії;
- можливість живлення декількох випромінювачів, сумарною потужністю не перевищуючи 10 кВт (без функції АПЧ) [7].

Ультразвукове джерело коливань, що складається з модернізованого **ультразвукового генератора УЗГ-641А** і п'єзоелектричної коливальні системи (ПКС) (рис. 1.5.), застосовується в різних технологічних процесах:

- в ультразвукових верстатах для обробки твердих і крихких матеріалів (скла, кераміки, феритів, кварцу, алмазів та інших.);
- в свердлильно-різьбонарізні верстатах для підвищення продуктивності при обробці важкооброблюваних конструкційних сталей і сплавів;
- в пристроях очищення деталей і виробів в рідких середовищах, отримання тонкодисперсних суспензій, емульсій, екстрактів з інтенсифікацією хімічних реакцій і процесів;
- швидкої і якісної спайки однорідних деталей (наприклад, пластмасових), поліпшення процесів зварювання, пайки і лудіння металів, зняття залишкового внутрішнього напруження в точних відповідальних деталях і виробих [8].



Рис. 1.5. Зовнішній вигляд УЗГ-641А

1.4. Висновки до Розділу 1

- застосування ультразвукових технологій у виробництві економічно і технологічно вигідно і перспективно;
- на сьогоднішній день ультразвукові технології вже застосовують у багатьох галузях, для різних технологічних процесів;
- в залежності від технологічного процесу, застосовують різні характеристики УЗГ.

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ УЗГ ДЛЯ УЗТА

2.1. Особливості функціонування УЗГ

Сучасні ультразвукові генератори представляють собою електронні пристрої, що перетворюють енергію електричної мережі в енергію електричних коливань ультразвукової частоти. Одна з основних вимог, що пред'являються до електронних генераторів, є необхідність забезпечення сталої роботи на резонансній частоті ультразвукової коливальної системи при будь-яких навантаженнях, потужностях випромінювання, типі підключеної коливальної системи і виду використовуваного робочого інструмента. У той же час область застосування ультразвукових апаратів стрімко розширюється, стрімко зростають вимоги до експлуатаційних характеристик ультразвукових апаратів. Для задоволення цих вимог необхідно оптимізувати конструкцію ультразвукової коливальної системи практично для кожної окремої задачі, в результаті чого параметри коливальних систем істотно змінюються (добротність, резонансна частота, наявність побічних резонансів, чутливість до впливу акустичного навантаження і т.п.) [9].

Індивідуальні особливості проєктованих коливальних систем обумовлюють необхідність коригування режимів роботи систем управління електронного генератора (системи фазового автоматичного підстроювання частоти, системи стабілізації амплітуди коливань, потужності випромінювання системи).

Для якісного управління режимами роботи ультразвукового апарату в цілому, необхідно контролювати близько десятка електричних параметрів, як самого генератора, так і побічні характеризуючі параметри ультразвукової коливальної системи [9].

Характеристики ультразвукових генераторів – як електричні, так і неелектричні – обумовлені характеристиками ультразвукової електро-технологічної установки, до складу якої він входить.

Електричні характеристики УЗГ. Робочу частоту (діапазон частот) ультразвукового генератора встановлюють залежно від його призначення. Для ультразвукових генераторів промислового застосування виділені ті ж частоти, що і для ультразвукових установок. Зазвичай ультразвукові генератори виконуються з однієї робочої частотою або з смугою частот. Однак ультразвукові генератори універсального застосування можуть мати дві і більше робочі частоти або смуги частот.

Під вихідною потужністю генератора розуміють електричну потужність, що підводиться до навантаження - ультразвуковий установці. Номінальна потужність встановлюється відповідно до ГОСТ 9865-76. У генераторі може бути передбачено регулювання вихідної потужності від 10 до 100% або від 50 до 100% номінальної.

ККД генератора характеризується відношенням його вихідної потужності до всієї споживаної потужності. ККД залежить від потужності генератора і від типу використовуваного в ньому перетворюючого елемента, його режиму, від якості вузлів і деталей. ККД генератора повинен відповідати таким даними:

Таблиця 2.1. Відношення вихідної потужності до ККД генератора

Вихідна Потужність, кВт	0,04 – 0,4	0,63 – 1,6	2,5 – 10	Вище 10
ККД генератора, %, не менше				
Ламповий	30	40	50	60
Напівпровідникового	50	60	65	-
Машинного	-	50	50	55

ККД характеризує економічність ультразвукового генератора, що слід враховувати при його проектуванні або виборі. Для збільшення ККД прагнуть використовувати там, де це можна, економічні режими роботи генераторів, напівпровідникові випрямлячі, трансформатори з малими втратами і т.п. Досить доцільно застосування напівпровідникових приладів, вони не тільки підвищують ККД, а й дозволяють знизити габарити генератора і його масу.

Стабільність і точність установки частоти важливі тільки для генераторів з незалежним збудженням. Під стабільністю частоти розуміють відношення її відхилення Δf від номінального значення f_0 тобто $\Delta f / f_0$. Вона визначається характером навантаження, що є резонансною системою, і повинна відповідати вимогам по стабільності, що пред'являються до генераторам. Так, при роботі з магнітострикційними перетворювачами, які озвучують рідини, стабільність частоти повинна бути не нижче $\pm 5 \cdot 10^{-3}$, а при роботі з коливальними системами з концентраторами не нижче $\pm 5 \cdot 10^{-4}$.

Точність установки частоти аналогічна стабільності частоти і визначається якістю органів налаштування генератора. Для генераторів з автоматичним підстроюванням частоти система повинна забезпечувати максимальне зближення частоти генератора f_r з резонансною частотою перетворювача f_0 і різниця частот $\Delta f = |f_r - f_0|$ повинна перебувати в допустимих межах Δf_d . З точки зору технологічного впливу нас цікавить ставлення допустимої амплітуди коливань перетворювача A_d до амплітуди коливань його на резонансній частоті A_0 . Таким чином:

$$k_d = \frac{A_d}{A_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + [2(\Delta f_d / f_0) Q]^2}}$$

де Q – добротність механічного ланки електроакустичного перетворювача. Для пристроїв очищення слід виконувати умови, при яких

$k_d = 0,6 \div 0,8$. Для роботи ультразвукових генераторів на установках, електроакустичні перетворювачі яких мають високу добротність (наприклад, системи з концентраторами) коефіцієнт k_d повинен бути збільшений до $0,80 - 0,98$.

Стабільність амплітуди механічних коливань електроакустичного перетворювача забезпечується електричними методами. Коли зовнішні впливи призводять до зміни параметрів електроакустичного перетворювача, спостерігається зміна амплітуди його коливань, особливо в високодобротних системах з концентраторами. У цих випадках генератори повинні забезпечувати не стабільність частоти, а стабільність амплітуди коливань торця концентратора в межах $\pm(1-5)\%$. Стабілізація амплітуди механічних коливань досягається введенням в генератор пристрою, який автоматично регулює потужність, що підводиться до перетворювача.

Режим роботи ультразвукового генератора визначається характером технологічного процесу.

Найбільш часто використовується режим безперервної генерації. Однак для інтенсифікації деяких процесів доцільна робота з радіочастотними імпульсами різної скважності. Амплітудна модуляція з глибиною до 100% також інтенсифікує процес очищення і виходить за рахунок застосування однофазних одно- і двохполуперіодних схем випрямлення без згладжуючих фільтрів. При цьому тип випрямляча визначає середню потужність на виході генератора. Частотна модуляція використовується для усереднення роботи перетворювачів мозаїчного типу, у яких існує розкид резонансних частот окремих елементів мозаїки.

Рівень індустриальних радіоперешкод визначається для комплексу ультразвуковий генератор, фідер, що живить навантаження, і саме навантаження і повинно відповідати загальноприйнятим нормам на індустриальні радіоперешкоди.

Неелектричні характеристики ультразвукових генераторів.

Конструкція ультразвукового генератора повинна відповідати таким вимогам, як простота виготовлення, невеликі габарити і маса, зручність догляду і ремонту, хороший природний або примусовий тепловідвід, теплостійкість і вологостійкість найбільш відповідальних деталей і вузлів, стійкість до зовнішніх впливів і т.д.

В інтересах експлуатації потрібно, щоб ультразвуковий генератор був простий в обслуговуванні і невибагливий, володів великим терміном служби. Це означає, що експлуатаційні властивості генератора визначаються:

- а) системою управління, тобто, умовами і часом пуску генератора, захистом від перевантажень, регулюванням потужності, часом настройки на робочу частоту;
- б) системою блокування і сигналізації, яка повинна забезпечити повну безпеку роботи обслуговуючого персоналу;
- в) числом вимірювальних приладів;
- г) наявністю підходів для ремонту, зміни ламп і деталей і т.п.

Крім того, до ультразвуковим генераторів можуть бути пред'явлені і спеціальні вимоги, що визначаються особливими умовами роботи. Наприклад, при роботі генератора в приміщеннях, що містять підвищену кількість вологи, його вузли і деталі повинні мати підвищену електричну міцність і вологостійкість [2].

Для розроблювального універсального ультразвукового генератора, необхідно використовувати такі характеристики: робоча частота – 18, 22, 44, 66 $\pm 5\%$ кГц, напругу живлення ~ 220 В, використання напівпровідникового типу генератор, тоді ККД буде не менше 50%, автопідстроювання частоти, стабілізацію амплітуди механічних коливань електроакустичного перетворювача. Конструкція ультразвукового генератора повинна бути проста у виготовленні, мати невеликі габарити і масу, має бути зручність догляду і ремонту, хороший примусовий тепловідвід, теплостійкість і

вологостійкість найбільш відповідальних деталей і вузлів, стійкість до зовнішніх впливів і т.д.

2.2. Аналіз структурних схем побудови УЗ апаратів

Для виявлення причин, що знижують якість регулювання амплітуди коливань і пошуку шляхів підвищення стабільності амплітуди коливань при виконанні протяжних швів проведено аналіз структури ультразвукового устаткування [12].

На рис. 2.2 приведена структурна схема типового ультразвукового генератора.

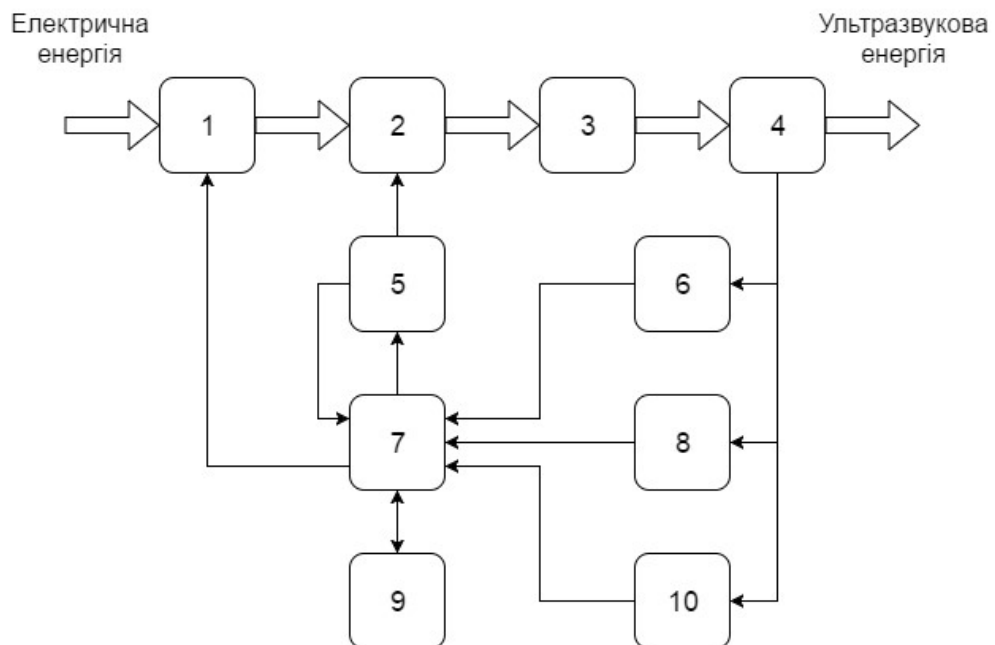


Рис. 2.2. Структурна схема УЗГ

Елементи 1, 2, 3, 4 складають електроакустичний тракт перетворення електричної енергії промислової мережі в енергію пружних коливань ультразвукової частоти. Блок 1 являє собою регульоване джерело постійної

напруги, яке надходить на транзисторний інвертор 2. Частота перетворення інвертора задається керованим генератором ультразвукової частоти 5.

На виході інвертора 2 формується напруга прямокутної форми, з амплітудою, що дорівнює напрузі на виході джерела 1. Ця напруга надходить на погоджуюче коло 3, де відбувається виділення і посилення першої гармоніки вхідного сигналу. З виходу колав узгодження напруга надходить на п'єзoelementи коливальні системи. Елементи блок-схеми 6, 8, 10 виділяють сигнали зворотного зв'язку. В якості вузла 7 використовується мікроконтролер, який реалізує алгоритми управління і стабілізації амплітуди механічних коливань ультразвукової коливальної системи і координує роботу всіх інших вузлів ультразвукового генератора [10].

Найважливішим принципом створення сучасних ультразвукових генераторів будь-яких типів є автоматичне регулювання, під яким розуміють узгодження генератора, як джерела електричної енергії до мінливих режимами ультразвукового перетворювача. Перетворювач під впливом навантаження змінює резонансну частоту і внутрішній опір. Для забезпечення рівномірного в часі дозування акустичної енергії необхідно постійне узгодження генератора з перетворювачем шляхом автоматичного регулювання частоти або потужності. Перший спосіб забезпечує безперервне відстеження ультразвуковим генератором зміни резонансної частоти перетворювача, що впливають на амплітуду коливань. При другому способі потужність автоматично збільшується або зменшується відповідно до зміни навантаження перетворювача.

Беручи той чи інший метод регулювання, слід враховувати економічні міркування. Регулювання по частоті застосовують в лампових генераторах тільки для тих установок, які характеризуються змінним навантаженням і використовують магнітострикційні перетворювачі високої якості. У напівпровідникових генераторах застосовують регулювання обома способами, щоб забезпечити найповніше використання позитивних

властивостей п'єзокерамічних перетворювачів. Відомі способи автоматичного регулювання частоти генераторів наведені на рис. 2.3 [11].



Рис. 2.3. Способи автоматичного регулювання частоти

До групи генераторів з самозбудженням відносяться схеми, в яких перетворювач є частиною електромеханічної обробки зв'язку. Частота коливань генератора залежить від властивостей його еквівалентної схеми. При відключенні перетворювача електричні коливання в генераторі не створюються.

Група генераторів з незалежним збудженням – найбільш широка. Частота такого генератора залежить від зміни того параметра системи, який безпосередньо пов'язаний з її резонансною частотою. При від'єднанні перетворювача коливання продовжують генеруватися.

Інші пристрої "розгойдують" частоту щодо резонансної частоти ультразвукового перетворювача.

Подальший розвиток способів автоматичного регулювання пов'язане з принципом синхронізації генератора збудження кінцевої потужної ступені електричного генератора за допомогою напруги, створюваного датчиком ультразвукового перетворювача [11].

2.3. Система АПЧ. Види та алгоритм роботи системи АПЧ в УЗГ

Відомо, що електроакустичні перетворювачі змінюють свою резонансну частоту при зміні навантаження, нагріві перетворювача та інших зовнішніх впливів. Особливо чуттєві до зміни навантаження п'єзокерамічні перетворювачі і перетворювачі із магнітострикційних феритів. Ці обставини потребують для підвищення ефективності роботи системи використовувати АПЧ. Для генераторів, що працюють в ключовому режимі, використання АПЧ дає також ще й збереження енергетично вигідного режиму роботи генератора [2].

Системи з АПЧ за способом отримання сигналу зворотного зв'язку поділяються на системи з електричним зворотнім зв'язком, при якому використовується вхідний електричний сигнал електромеханічного перетворювача, пропорційний коливальній швидкості робочої частини перетворювача або амплітуді його зміщення, і системи з акустичним зворотнім зв'язком, при якому використовується сигнал датчика механічних коливань перетворювача або трансформатора швидкості.

Системи автопідлаштування частоти, що використовуються в теперішній час, умовно можна поділити на дві групи: внутрішня і зовнішня. Внутрішня полягає в тому, що система "генератор – перетворювач – пристрій виділення сигналу зворотного зв'язку" охоплена колом позитивного зворотного зв'язку так, що в замкненій системі виникають автоколивання на резонансній частоті перетворювача. При зовнішній АПЧ система керує роботою задаючого генератора установки, частота якого автоматично змінюється при зміні резонансної частоти перетворювача. Системи з зовнішнім АПЧ мають обмежене застосування в ультразвукових електричних установках в зв'язку із складністю регулювання та експлуатації.

Завдання АПЧ полягає в виділенні сигналу, пропорційному механічним коливанням перетворювача, і налаштуванні генератора на частоту, що відповідає максимальним коливанням.

Досить важливим тут є спосіб виділення сигналу, пропорційному амплітуді коливань перетворювача. Переважаючи в цьому сенсі електричні методи виділення сигналу, пропорційному коливальному струму механічної гілки перетворювача, здійснюється за рахунок компенсації реактивної та активної складових електричної гілки перетворювача, при чому бажана компенсація не на одній частоті, а на усьому діапазоні частот.

Методи виділення сигналу за допомогою електроакустичних перетворювачів хоча і дають безпосередню інформацію про коливання перетворювача, але конструктивно достатньо складні, так як потребують закріплення датчика механічних коливань на робочій частині перетворювача, що не завжди виконувано. Крім того, сигнал на виході таких датчиків, за винятком резонансних, малопотужний і потребує додаткових зусиль [2].

Аналізуючи різноманітні способи налаштування робочої частоти інвертора в резонанс з навантаженням, ми можемо виділити три основні класи рішень. Назва цих класів досить умовне, причому класифікацію ми проводимо не за принципом генерації змінного сигналу, а скоріше - за принципом настройки частоти генератора на резонансну частоту навантаження.

Перший клас - це автономні генератори. Автономний генератор - це своєрідна «річ у собі», і його частота безпосередньо не пов'язана з резонансною частотою навантаження. Частота автономного генератора залежить тільки від значення його власних параметрів, змінюючи які ми якраз і можемо її контролювати. Цей контроль може бути ручним або автоматичним. Для настройки автономного генератора на резонансну частоту можна використовувати один з двох варіантів. Перший полягає в попередньому вимірі резонансної частоти навантаження тим або іншим

способом. Наприклад, по максимуму струму, споживаного інвертором. При цьому передбачається, що в процесі роботи ця частота не буде істотно змінюватися. Другий спосіб більш гнучкий - можна організовувати спеціальні паузи в штатній роботі інвертора. Під час цих пауз контур здійснює вільні коливання вже з власної (резонансної) частотою. Цю частоту можна вимірювати і використовувати для настройки автономного генератора.

Другий клас рішень - автогенератори. Практично будь-який інвертор нескладно перетворити в автогенератор наступним чином. З контуру (навантаження) береться сигнал, пропорційний струму, поточному через навантаження (нагадаємо, що мова йде про інверторах напруги). Після підсилення і, можливо, деяких додаткових перетворень, цей сигнал надходить безпосередньо на вхід драйверів силових ключів інвертора. Природно, фаза сигналу повинна бути такою, щоб загальний зворотній зв'язок був позитивний. Інакше автогенератор просто не буде працювати. При досить високому коефіцієнті посилення і не дуже великих навантаженнях в системі виникнуть автоколивання з частотою, близькою до резонансної частоти контуру навантаження. Наше завдання вирішується абсолютно автоматично за рахунок вибіркості контуру, включеного в ланцюг позитивного зворотного зв'язку.

Ну і, нарешті, рішення, засновані на мінімізації різниці фаз сигналів струму і напруги, знімаються з навантаження. Тобто - системи з фазовим автоналаштуванням частоти. ФАПЧ порівнює фази вхідного і опорного сигналів і видає сигнал похибки, відповідно різниці між цими фазами. Сигнал похибки проходить далі через фільтр низьких частот і використовується як керівний для генератора, керованого напругою (ГКН), який генерує в колі негативного зворотного зв'язку. Якщо вихідна частота відхиляється від опорної, то сигнал похибки збільшується, діючи на ГКН в

сторону зменшення похибки. В стані рівноваги вихідний сигнал фіксується на частоті опорного [12].

2.4. Фазове автопідлаштування частоти

Фазове автопідлаштування частоти — система автоматичного регулювання, що коригує частоту керованого генератора так, щоб вона дорівнювала частоті опорного сигналу. Регулювання відбувається завдяки негативному зворотному зв'язку. Вихідний сигнал керованого генератора порівнюється на фазовому детекторі з опорним сигналом, результат порівняння використовується для керування частотою генератора.

Система ФАПЧ використовується для частотної модуляції і демодуляції, множення і перетворення частоти, частотної фільтрації, виділення опорного коливання для когерентного детектування і в інших цілях.

ФАПЧ широко використовується в радіотехніці, телекомунікаціях, комп'ютерах та інших електронних пристроях. Ця система може генерувати сигнал постійної частоти, відновлювати сигнал в зашумленому комунікаційному каналі або розподіляти сигнали синхронізації в цифрових логічних схемах, таких, як мікропроцесори, ПЛІС і т. д. Інтегральна схема ФАПЧ часто використовується в сучасних електронних пристроях з тактовою частотою понад 1 ГГц.

Процес фазового автопідлаштування частоти можна порівняти з ладнанням струни на гітарі. Використовуючи камертон чи камертон-дудку для отримання опорної частоти, натяг струни регулюється до тих пір, поки акустичне биття перестане бути чутне. Це сигналізує про те, що камертон і гітарна струна вібрують на одній частоті. Якщо уявити, що гітара може бути ідеально налаштована на опорний тон камертона, і лад буде

збережено, можна говорити про те, що струна гітари стабілізована по фазі з камертоном.

Схема ФАПЧ являє собою систему з контуром зворотного зв'язку, який містить ГКН, фазовий детектор (ФД), ФНЧ і підсилювач (рис. 2.6.).

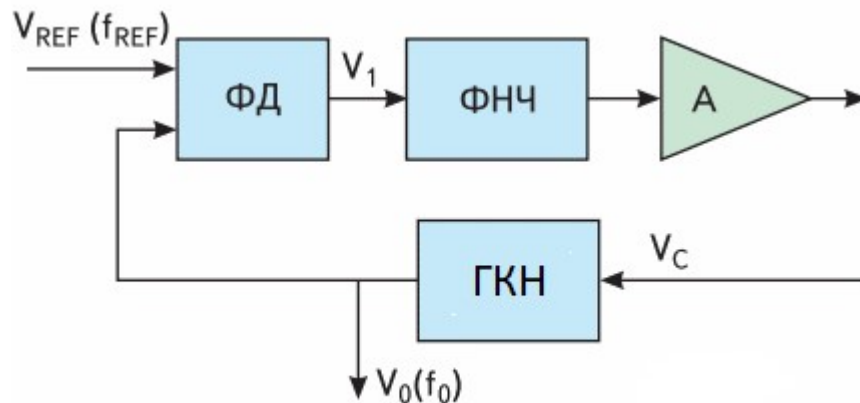


Рис. 2.6. Структурна схема ФАПЧ

ФД (або детектор помилки) порівнює фази сигналу опорного генератора V_{REF} і вихідного сигналу ГКН V_0 і виробляє напругу V_1 величина якого залежить від різниці фаз цих сигналів. Якщо ця різниця дорівнює φ радіан, то вихідна напруга ФД буде визначатися виразом:

$$V_1 = K_\varphi \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right),$$

де K_φ - коефіцієнт передачі «фаза – напруга ФД» розмірністю В/рад.

Вихідна напруга ФД пропускається через ФНЧ для придушення високочастотних складових і їх гармонік, які присутні в опорному сигналі і на виході ГКН. Напруга з виходу ФНЧ посилюється і використовується як керуючий для ГКН (V_C). Його величина становить:

$$V_c = K_\varphi A \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right),$$

де A – підсилення підсилювача. Така управляюча напруга забезпечує зміну частоти ГКН по відношенню до частоти його власних коливань f_0 до рівня

$$f = f_0 + K_V V_C,$$

де K_V - коефіцієнт передачі «напруга – частота ГКН» розмірністю Гц/В.

Коли здійснений захват опорного сигналу $f_{оп}$ схемою ФАПЧ, справедлива рівність:

$$f = f_{REF} = f_0 + K_V V_C.$$

Оскільки згідно (8):

$$V_C = \frac{f_{REF} - f_0}{K_V} = K_\phi A \left(\phi - \frac{\pi}{2} \right)$$

отримаємо:

$$\phi = \frac{\pi}{2} + \frac{f_{REF} - f_0}{K_V K_\phi A}.$$

Таким чином, якщо схема ФАПЧ захопила опорний сигнал, то зсув по фазі між цим сигналом і вихідним сигналом ГКН встановлюється рівним ϕ , і дві частоти f_{REF} і f_0 будуть точно синхронізовані. Максимальна напруга на виході ФД має місце при $\phi = \pi$ і $\phi = 0$ і визначається виразом:

$$V_{1(MAX)} = \pm K_\phi \frac{\pi}{2}.$$

Відповідно максимально можливе керуюча напруга рівна:

$$V_{C(MAX)} = \pm K_V K_\phi \frac{\pi}{2}.$$

В цьому випадку діапазон частот, який можна забезпечити на виході ГКН, становить:

$$f_{REF} = f_0 \pm K_V K_\phi \frac{\pi}{2} A = f \pm \Delta f_L.$$

Величина $2\Delta f$ називається смугою захоплення ФАПЧ і визначається за формулою:

$$2\Delta f = K_\nu K_\phi A\pi.$$

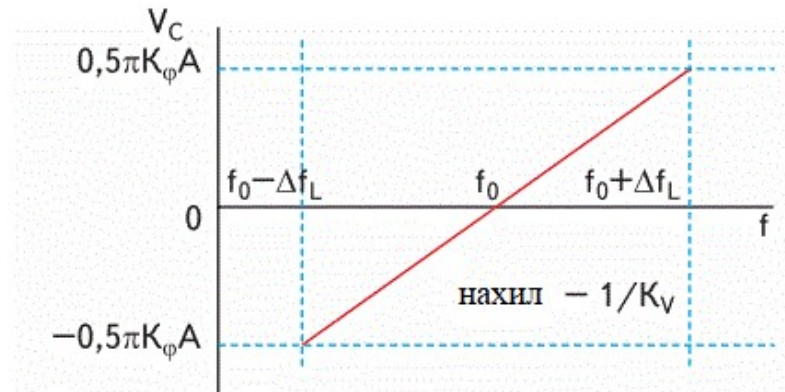


Рис. 2.7. Смуго захоплення ФАПЧ

На рис. 2.7. приведена залежність V_c від частоти опорного сигналу, що характеризує смуго захоплення. За межами цієї смуги частота ГКН не може бути синхронізована з частотою опорного сигналу. Схемотехніка ФАПЧ може бути класифікована по методу реалізації [12].

2.5. Необхідність узгодження УЗГ з КС

Для ультразвукової (УЗ) обробки технологічних середовищ і матеріалів використовуються апарати, що забезпечують перетворення електричної енергії промислової мережі в УЗ коливання і введення їх в оброблюване середовище. Незалежно від призначення, УЗ апарати складаються з електронного генератора і УЗ коливальної системи (УЗКС). Електронний

генератор здійснює перетворення енергії електричної мережі змінного струму в електричні коливання УЗ частоти для живлення перетворювача УЗКС. Перетворювач забезпечує перетворення електричних коливань в механічні коливання випромінюючої (робочої) поверхні і введення їх в оброблюване середовище або матеріал.

Для реалізації процесу перетворення ультразвукових апаратах використовується магнітострекційні або п'єзoeлектричні перетворювачі. На даний момент, завдяки простоті виготовлення і підвищеному ККД найбільше розповсюдження отримали УЗКС з п'єзоперетворювачами.

В ультразвуковому апараті УЗКС є комплексним електричним навантаженням на генератор і її безпосереднє підключення до нього не забезпечує максимальної ефективності передачі енергії через відсутність системи узгодження. Для виявлення причин неоптимального узгодження п'єзoeлектричного перетворювача і електронного генератора розглянемо, представлену на рис.2.8. фізичну (електричну) еквівалентну схему заміщення коливальні системи з п'єзoeлектричним перетворювачем, що працює в нерезонансному режимі (поблизу резонансу) [14].

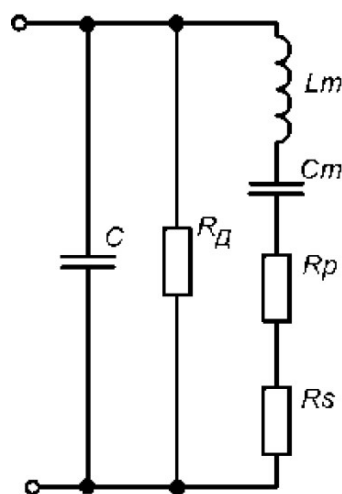


Рис.2.8. Еквівалентна схема п'єзoeлектричної коливальної системи поблизу резонансної частоти

У представленій схемі (рис.2.8.) індуктивність L_m еквівалентна коливальній масі системи, ємність C_m - гнучкості, активний опір R_p - опору механічних втрат, R_s - опору випромінювання коливальні системи, C - електричної (статичної) ємності перетворювача, R_d - діелектричним втратам в п'єзоматеріалі. Опір механічних втрат обумовлено внутрішнім тертям частинок матеріалу при коливаннях, а також втратами механічної енергії в місцях кріплення коливальні системи. Опір випромінювання визначається параметрами системи і пропорційно хвильовому опору середовища. Електрична ємність перетворювача обумовлена геометричними розмірами і діелектричної проникністю використовуваних п'єзокерамічних елементів.

На резонансній частоті механічного коливального контуру (L_m , C_m) еквівалентна схема системи перетвориться до виду, представленому на рис.2.9.

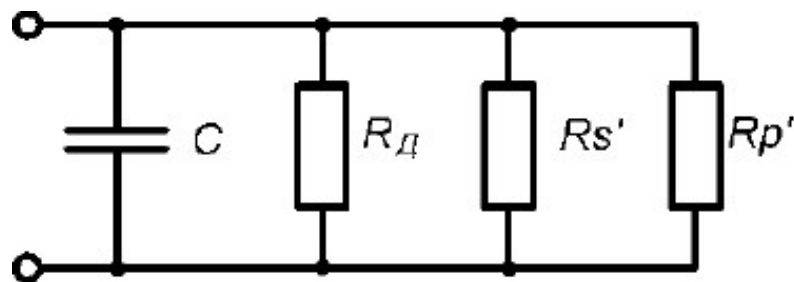


Рис.2.9. Еквівалентна схема п'єзоелектричної коливальної системи на резонансній частоті

Як видно з еквівалентної схеми п'єзоелектричної коливальної системи вона є комплексним навантаженням для електронного генератора, яка визначається, в основному, електричною ємністю перетворювача. Пряме підключення такого навантаження до електронного генератора призводить до зниження ефективності передачі енергії в навантаження і до зниження ефективності УЗ впливу на оброблювальні середовища або матеріали. Для забезпечення максимальної ефективності передачі акустичної енергії в

оброблювані середовища необхідно забезпечувати узгодження електронного генератора і п'єзоелектричної коливальні системи.

У загальному випадку, вхідний імпеданс УЗКС і вихідний імпеданс генератора є комплексними величинами і можуть бути представлені таким чином:

$$\begin{cases} Z_{УЗКС} = a_{УЗКС} + b_{УЗКС}j \\ Z_{Г} = a_{Г} + b_{Г}j \end{cases},$$

де $Z_{УЗКС}$ - імпеданс п'єзоелектричної коливальної системи $a_{УЗКС}$ $b_{УЗКС}$ - активна і реактивна складові імпедансу системи; $Z_{Г}$ - вихідний імпеданс генератора; $a_{Г}$ і $b_{Г}$ - активна і реактивна складові імпедансу генератора.

Активна складова імпедансу КС визначається конструктивною схемою (геометричними розмірами) УЗКС, а також середовищем в яку вводяться УЗ коливання. Реактивна складова імпедансу УЗКС визначається розмірами і властивостями матеріалу системи (проявляється при роботі на нерезонансній частоті), середовищем в яку вводяться ультразвукові коливання. Крім того реактивна складова включає в себе ємнісну складову, обумовлену діелектричними властивостями п'єзокерамічних елементів.

Таким чином, для узгодження необхідно забезпечити роботу УЗКС на резонансній частоті, при цьому вихідна активний опір генератора повинно бути мінімальним (узгодження по напрузі), а реактивні ємнісні складові системи повинні компенсуватися реактивними індуктивними складовими вихідного каскаду генератора.

$$\begin{cases} a_{Г} \ll a_{УЗКС} \\ |b_{Г}| = |b_{УЗКС}| \\ f = f_{резонанса} \end{cases}.$$

Оскільки коливальна система, працюючи на своїй резонансній частоті, є електричним активноемнісним навантаженням для генератора, а його вихідний опір, як правило, є чисто активним опором, для компенсації статичної ємності перетворювача використовується спосіб узгодження, представлений на рис. 2.10. При його реалізації, послідовно з п'єзоперетворювачем включається дросель [18]. Індуктивність дроселя вибирається такою, щоб резонанс послідовного електричного коливального контуру, утвореного індуктивністю дроселя електричної ємності перетворювача перебував на кілька (4 ... 5) кГц вище частоти механічного резонансу всієї системи. Неповна відповідність частоти електричного контуру і частоти механічних коливань системи встановлюється для зменшення впливу змін власної електричної ємності п'єзоелементів перетворювача [19]. Узгодження активних складових опору вихідного каскаду генератора і вхідного опору системи на резонансній частоті забезпечується вихідним трансформатором генератора.

Такий спосіб компенсації електричної ємності дозволяє наблизити характер електричного навантаження, що підключається до генератора, до активного при роботі на резонансній частоті УЗКС.

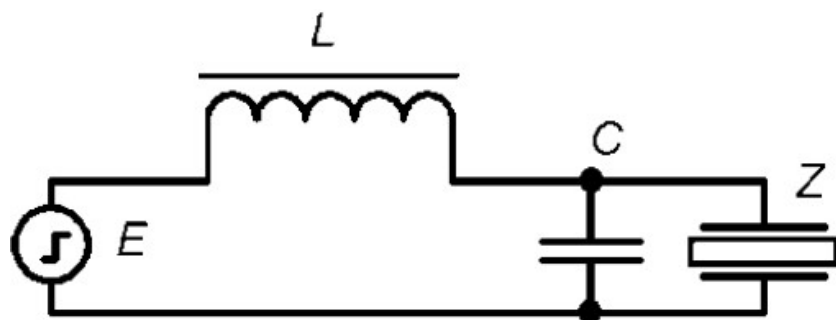


Рис.2.10. Компенсація статичної ємності п'єзоелектричної коливальної системи

Розглянутий спосіб не забезпечує оптимального узгодження, оскільки при зміні температури системи в процесі експлуатації змінюється електрична

ємність п'єзоелементів, що тягне за собою зміну умови узгодження. Крім того, зміни параметрів середовища, що відбуваються в процесі обробки (концентрація розчинених речовин, емульгування, диспергування, набухання, що призводять до зміни в'язкості, акустичного імпедансу, температури, тиску і т. д.) змінюють параметри коливальної системи, що також призводить до зміни умови узгодження.

Для зменшення впливу змін власної електричної ємності п'єзоелементів більшість розробників [19] УЗ апаратів рекомендують використання додаткової електричної ємності, яка підключається паралельно п'єзоелементу, рис. 2.10. Такий підхід дозволяє зменшити вплив змінюваної власної електричної ємності перетворювача на положення резонансу електричного коливального контуру, однак компенсувати вплив змін параметрів середовища на параметри системи таким способом забезпечити не може, як правило ККД ультразвукового технологічного апарата не перевищує 50 ... 60% [19].

2.6. Розробка структурної схеми генератора

Ультразвуковий генератор з функцією авторегулювання частоти, що складається з мережевого джерела живлення (ДЖ), підсилювача потужності (ПП), фазового автопідлаштування частоти, п'єзокерамічного перетворювач (ПКП), блоку узгодження (БУ) та датчика струму (ДС), зображений на рис. 2.10.

Джерело живлення - пристрій, призначений для забезпечення різних пристроїв електричним живленням, перетворює струм мережі в постійний.

Регулятор (стабілізатор) напруги — перетворювач електричної енергії, що дозволяє отримати на виході напругу, яка знаходиться в заданих межах, при значних коливаннях вхідної напруги і опору навантаження [15].

Підсилювач потужності призначений для отримання на виході підсиленого сигналу, можливо, більшої абсолютної потужності. Для досягнення цієї мети намагаються якомога повніше використати можливості активного елементу (транзистора чи електронної лампи) за струмом та за напругою.

Блок узгодження – елемент або схема з декількох елементів, що розташовується між генератором та коливальною системою для мінімізації комплексної ємності коливальної системи.

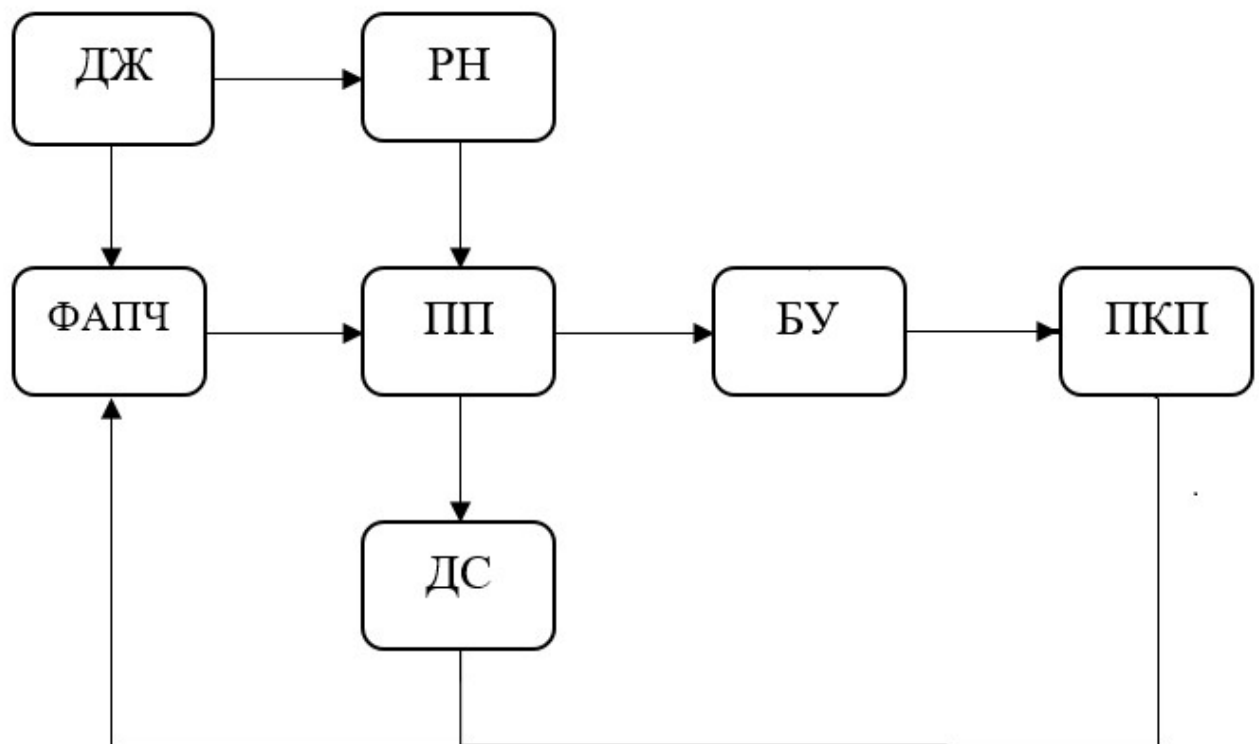


Рис. 2.10. Структурна схема УЗГ

Фазове автопідлаштування частоти - система автоматичного регулювання, що коригує частоту керованого генератора так, щоб вона

дорівнювала частоті опорного сигналу. Регулювання відбувається завдяки негативному зворотному зв'язку. Вихідний сигнал керованого генератора порівнюється на фазовому детекторі з опорним сигналом, результат порівняння використовується для керування частотою генератора [13].

Датчик струму в даному випадку звичайний активний резистор, що має мале значення для того, щоб ККД приладу за рахунок збереження потужності.

П'єзокерамічні перетворювачі (випромінювачі) — перетворюють електричний сигнал на звукові хвилі (використовують зворотний п'єзоефект).

П'єзокерамічний перетворювач працює на резонансній частоті. На резонансній частоті зсув фаз між напругою та струмом максимально близький до нуля. ПКП приймає активний характер. Інформація по напрузі береться з генератора, а по струму з датчика струму, який стоїть недалеко від ПКП. Коли зсув фаз наближається до нуля, то ФАПЧ перестає сканувати частоту. Як тільки зміниться навантаження на ПКП, то ФАПЧ знову сканує частоту резонансу. На резонансі імпеданс ПКП мінімальний, а на антирезонансі максимальний для даного перетворювача. У даному випадку при антирезонансі буде майже відсутня напруга на ДС.

Живиться даний генератор від однофазної мережі, змінної напруги 220 В, 50 Гц. З двох обмоток трансформатора напруга надходить на випрямляч, яка згладжується конденсатором і надходить на стабілізатори. Один — індикатор живлення, а інший регулятор напруги (10-60 В), для регулювання потужності на виході приладу. З РН напруга надходить на середню точку трансформатора Т2, двотактного підсилювача потужності. Друга напруга надходить на схеми живлення ШІМ-контролера та ФАПЧ.

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) — процес керування шириною високочастотних імпульсів за законом, який задає низькочастотний сигнал [16].

У нашому випадку ми використовуємо ШІМ мікросхему UC3835, проте використовуємо лише три функції даної мікросхеми: драйвер для живлення польових транзисторів; паузу, щоб не було наскрізних струмів; та на випадок неполадок(дуже швидкий запобіжник). Сама ж функція ШІМ не використовується, бо вона впливає на резонанс перетворювача.

2.7. Висновок до Розділу 2

У другому розділі магістерської дисертації було проаналізовано будову електронних генераторів на структурному рівні, особливості їх функціонування. Також було розглянуто необхідність використання автопідлаштування частоти та узгодження генератора з навантаженням. Оскільки перетворювач під впливом навантаження змінює резонансну частоту і внутрішній опір, то ці дві функції є дуже важливими для роботи технологічного апарата при максимальній ефективності. І як закінчення було побудовано структурну схему ультразвукового генератора, з урахуванням вище сказаних особливостей.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1. Розрахунок стержневого перетворювача

Оскільки п'єзокерамічний перетворювач є навантаженням ультразвукового генератора і робота генератора залежить від перетворювача, тому необхідно розрахувати його параметри. За зразок було взято один з найпоширеніших перетворювачів – стержневий з робочою частотою 22 кГц

3.1.1. Вихідні дані необхідні для розрахунку.

Робоча частота: 22 кГц

Марка кераміки: ЦТСС-1

- густина $\rho_1 = 7300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- швидкість $c_1 = 3300 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;
- модуль Юнга $E_{33} = 1,27 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$;
- п'єзомодуль $d_{33} = 1,18 \cdot 10^{-10} \frac{\text{К}}{\text{Н}}$;
- максимальна напруження $\sigma_p = 0,19 \cdot 10^8 \text{ Па}$.

Сплав титану: ВТ-5

- густина $\rho_2 = 4420 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- швидкість $c_2 = 5000 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Сталь: 1X18H9T

- густина $\rho_3 = 7900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- швидкість $c_3 = 5700 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

3.1.2. Розрахунок розмірів перетворювача.

В типовій конструкції перетворювача п'єзоелемент складається з двох круглих п'єзокерамічних пластин, що мають центральний отвір, через який проходить стержень армуючого болта. Зовнішній діаметр пластин співпадає з діаметром випромінюючого торця перетворювача, тому, щоб збільшити випромінюючу потужність, його необхідно вибрати як можна більшим. Однак перетворювач повинен залишатися стержневим. Крім того, необхідно мати на увазі, що армування компенсує в п'єзоелементі тільки осьову складову небажаної деформації розтягнення, тому необхідно прийняти міри, щоб радіальна складова була мінімально можливою. По цим причинам діаметр перетворювача повинен бути суттєво меншим довжини хвилі. Враховуючи вище сказане, у відповідності з рекомендованим рядом лінійних розмірів згідно стандартом ГОСТ 6636-69, приймемо діаметр п'єзоелемента і випромінюючого торця перетворювача $D_1 = 50 \text{ мм}$. Внутрішній діаметр п'єзокерамічних пластин повинен бути більше діаметра стрижня армуючого болта. Приймемо значення внутрішнього діаметру пластин $D_2 = 20 \text{ мм}$. Тоді площа п'єзоелемента:

$$S_1 = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) = 16,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Товщина пластин для покращення характеристик перетворювача повинна бути мінімальною, наскільки це дозволяє їх механічна міцність. Тут мається на увазі міцність в умовах не ідеального одноосного навантаження, а

при наявності згинальної деформації. В існуючих конструкціях перетворювачів на частоту 16 і 18 кГц використовують пластини товщиною 8 мм, на частоту 22 кГц – 8 або 4 мм, а на частоту 44 кГц – тільки 4 мм. Відповідно в нашому випадку для частоти 22 кГц приймаємо $d_1 = 4 \text{ мм}$. Тоді хвильова довжина п'єзoeлемента:

$$\beta_1 = 2 \frac{2\pi f}{c_1} = 0,3.$$

Матеріалом для тильної накладки була обрана сталь 1Х18Н9Т. За відомими характеристиками вибраних матеріалів визначаємо параметри α_i , необхідні для подальшого розрахунку.

$$\alpha_2 = \frac{(\rho c)_2}{(\rho c)_1} = 0,9; \quad \alpha_3 = \frac{(\rho c)_3}{(\rho c)_1} = 1,6.$$

Довжину накладок знайдемо із умови резонансу для акустично симетричного перетворювача:

$$\text{Хвильова довжина передньої накладки: } \beta_2 = \arctg\left(\frac{1}{\alpha_2} \operatorname{ctg} \frac{\beta_1}{2}\right) = 1,4.$$

$$\text{Довжина передньої накладки: } l_2 = \frac{\beta_2 c_2}{\omega} = 0,05 \text{ м.}$$

$$\text{Хвильова довжина тильної накладки: } \beta_3 = \arctg\left(\frac{1}{\alpha_3} \operatorname{ctg} \frac{\beta_1}{2}\right) = 1,3.$$

$$\text{Довжина передньої накладки: } l_3 = \frac{\beta_3 c_3}{\omega} = 0,053 \text{ м.}$$

$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 0,3 + 1,4 + 1,3 \approx \pi$ - розрахунок хвильових розмірів виконано вірно.

В відмінності від п'єзoeлемента і робочої накладки центральний отвір тильної накладки заповнений стержнем болта, тому її діаметр:

$$D_3 = \sqrt{\frac{4S_1}{\pi}} = 45 \text{ мм.}$$

3.1.3. Розрахунок елементів армуючого пристрою.

Армуючий пристрій призначений, по-перше, для компенсації небажаного розтягнення в п'єзокераміці і, по-друге, - для конструктивного з'єднання елементів коливальної системи зі створенням хорошого акустичного контакту між ними.

Зі збільшенням степені стиснення коливальної системи конструктивні втрати зменшуються, але при цьому погіршуються властивості кераміки – знижується її п'єзомодуль і збільшуються механічні втрати. Експериментально встановлено, що оптимальним в цьому відношенні є значення механічної напруги $\sigma_{cm} = 15 \text{ МПа}$, яке і приймають для розрахунку армуючого пристрою.

Зусилля, яке повинен створити армуючий болт:

$$F_B = \sigma_{cm} S_1 = 2,48 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Болт буде працювати в умовах циклічного навантаження і на ньому присутня різьба – концентратор механічних напруг, тому стержень болта виконаємо також зі сталі 1Х18Н9Т, як і тильну накладку-затяжну гайку. Допустиму механічну напругу для роботи в цих умовах приймають приблизно в три рази менше значення, допустимого при статичній деформації σ_{cm} , тому для обраної марки сталі приймемо $\sigma_{pdon} = 1,11 \cdot 10^8 \text{ Па}$.

Умова міцності - $\sigma \leq \frac{\sigma_{pdon}}{k_{зан}}$, де $k_{зан} = 1,1 \dots 1,5$ - коефіцієнт запасу. Приймемо

$k_{зан} = 1,25$. Тоді площа поперечного перерізу болта:

$$S_B = \frac{F_B k_{зан}}{\sigma_{рдон}} = 2,79 \cdot 10^{-4} \text{ м},$$

звідки діаметр болта:

$$d_B = \sqrt{\frac{4S_B}{\pi}} = 1,18 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Торцеву частину тильної накладки довжиною 10 мм виконаємо в формі шестигранної гайки зі стандартним розміром під ключ S=36 мм.

3.1.4. Визначення максимальної амплітуди коливальної швидкості.

Максимальне значення амплітуди коливальної швидкості знайдемо з умови механічної міцності п'єзокерамічного елемента без урахування армування. Амплітуда механічної напруги, що виникає в п'єзoelementі при роботі перетворювача:

$$\sigma_{\max} = (\rho c)_1 \dot{\xi}_{n_o}.$$

$$\text{Умова міцності } \sigma_{\max} \leq \frac{\sigma_{рдон}}{k_{зан}}, \text{ звідки } \dot{\xi}_{n_o} = \frac{\sigma_{рдон}}{(\rho c)_1 k_{зан}}.$$

При впливі циклічного навантаження при відсутності концентраторів механічних напруг приймають $\sigma_{рдон} = (0,4 \dots 0,6) \sigma_p$, де $\sigma_p = 0,19 \cdot 10^8$ - допустима механічна напруженість на розрив при статичній деформації. Прийmemo $\sigma_{рдон} = 0,5 \sigma_p$. Коефіцієнт запасу $k_{зан}$ прийнято використовувати в межах $k_{зан} = 2 \dots 3$. Прийmemo $k_{зан} = 2,5$. Тоді для обраної п'єзокераміки ЦТСС-1:

$$\dot{\xi}_{n_o} = \frac{\sigma_{рдон}}{(\rho c)_1 k_{зан}} = 0,16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

3.1.5. Визначення електричних параметрів перетворювача.

Виходячи з максимальної амплітуди механічного напруження, що діє в п'єзоелементі:

$$\sigma_{\max} = (\rho c)_1 \dot{\xi}_{H_0} = 38,5 \cdot 10^5 \text{ Па},$$

Спочатку знайдемо відповідне значення механічної добротності з урахуванням конструктивних втрат за залежністю: $Q_M = 32$.

Далі визначимо відповідний для знайденої добротності опір механічних втрат для напівхвильового перетворювача:

$$r_{\text{мв}}(\beta = \pi) = \frac{2\pi(\rho c)_1 S_1}{Q_M} = 7,76 \cdot 10^3 \frac{\text{Кг}}{\text{с}}.$$

Тоді опір втрат для п'єзоелемента довжиною $\beta_1 = 0,3$ має наступний вигляд:

$$\frac{r_{\text{мв}}(\beta_1)}{r_{\text{мв}}(\beta_1 = \pi)} = \frac{\beta_1}{\pi} \left(1 + \frac{\sin \beta_1}{\beta_1} \right) = 0,11;$$

$$r_{\text{мв}} = 0,85 \cdot 10^3 \frac{\text{Кг}}{\text{с}}.$$

$$U = \dot{\xi}_{H_0} \frac{E_{33} d_1 2r_{\text{мв}}}{d_{33} S_1} = 70,1 \text{ В}.$$

Електричну ємність перетворювача

$$C_0 = \frac{2\varepsilon_0 \varepsilon_{33}'' S_1}{d_1} = 4,93 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} \text{ компенсуємо індуктивністю } L_{\kappa} = \frac{1}{\omega^2 C_0} = 0,011 \text{ Г}.$$

Тоді вхідний електричний опір перетворювача на частоті механічного резонансу буде чисто активним:

$$R_{\text{вх}} = \frac{2r_{\text{мв}} E_{33}^2 d_1^2}{d_{33}^2 S_1^2} = 1,075 \text{ кОм}.$$

3.2. Розрахунок окремих вузлів генератора

3.2.1. Розробка регулятора напруги

За основу регулятора напруги було взято мікросхему UC3845. Додаткова інформація про мікросхему знаходиться в Додатку А.

Загальний опис мікросхеми UC3845

Мікросхеми ШІМ-контролерів серії UC384х мають всі необхідні функціональні можливості для створення схем управління мережевими імпульсними джерелами живлення або перетворювачами постійний струм – постійний струм зі зворотнім зв'язком по струму і постійною частотою перетворення. Вбудовані структурні елементи мікросхеми забезпечують її вимкнення при недопустимо низькій вхідній напрузі. Прецизійне джерело опорної напруги тарований для підвищення точності на виході підсилювача сигналу похибки. ШІМ-компаратор контролює також обмеження по струму, а квазікомплементарний вихідний каскад розрахований на значні стрибки струму (як стокового, так і витокового). Вихідний каскад забезпечує роботу на навантаження типу n-канального польового транзистора з ізолюваним затвором і має низький логічний рівень напруги в вимкненому стані [17].

При напрузі живлення 5 В часопадаюча ємність повинна бути не менше 100 пФ, а при живленні 10 В повинна бути не менше 50 пФ. Вихід фазового компаратора через RC-коло з'єднується з входом VCO_{in}. Якщо цей сигнал необхідно використовувати ще де-небудь, його можна отримати від повторювача сигналу (вивід 10), який при цьому повинен бути з'єднаний резистором (10 Ком або більше) з Gnd. Якщо це не потрібно, вивід 10 (вивід деморегулятора) може бути залишений непідключеним. Вихід ГКН може бути підключений безпосередньо до ФК (вивід 3) або через дільник частоти.

Сигнальний вхід фазового компаратора (вивід 14) може бути безпосередньо з'єднаний з сигналом, розмах коливань якого відповідає стандартним рівням КМОП логіки (логічний 0 < 30%, а логічна 1 > 70% напруги джерела живлення). При меншому розмаху вхідний сигнал повинен подаватися через ємність на сигнальний вхід, який не вимагає установки зміщення. Фазовий компаратор 1 (вихід на виводі 2) є схемою, що Виключаюче-АБО, яка функціонує аналогічно перевантаженому балансному змішувачу. Щоб максимізувати діапазон захоплення частоти, частоти на вході компаратора і сигналу повинні мати 50% заповнення циклу. При відсутності сигналу або при шумовому сигналі на вході, цей фазовий компаратор має середню вихідну напругу рівну половині напруги живлення. Фільтр низької частоти, з'єднаний з виходом фазового компаратора, забезпечує усереднену напругу на вході ГКН і змушує його генерувати на центральній частоті.

Діапазон вхідної частоти, в якому мікросхема CD4046N захопить цю частоту, є $2F_c$.

Діапазон вхідної частоти, в якому мікросхема CD4046N буде утримувати цю частоту, є $2F_l$. Діапазон захоплення повинен бути менше діапазону утримання.

Фазовий компаратор 2 (виходи на виводах 1,13) є схемою запускаючою по фронту, яка містить 4 тригерних ступені пов'язаних з керуючими схемами

і виходом з трьома станами. Цей фазовий компаратор запускається по позитивному фронту на вході сигналу (вивід 3) або компаратора (вивід 4) і працює незалежно від коефіцієнта заповнення на цих входах. Вихід РС2 (вивід 13) забезпечує рівень напруги і коефіцієнт заповнення циклу відповідно частоті і різниці фаз між вхідними сигналами. Коли цей вихід з'єднаний через ФНЧ зі входом ГКН, на ємності фільтра напруга змінюється до тих пір, поки обидва сигнали не стануть рівними по частоті і фазі. Коли ця напруга встановилося, на виході РСР (вивід 1) встановлюється високий потенціал, який сигналізує про захоплення частоти. Коли використовується фазовий компаратор 2 в ФНЧ розсіюється менша потужність [17].

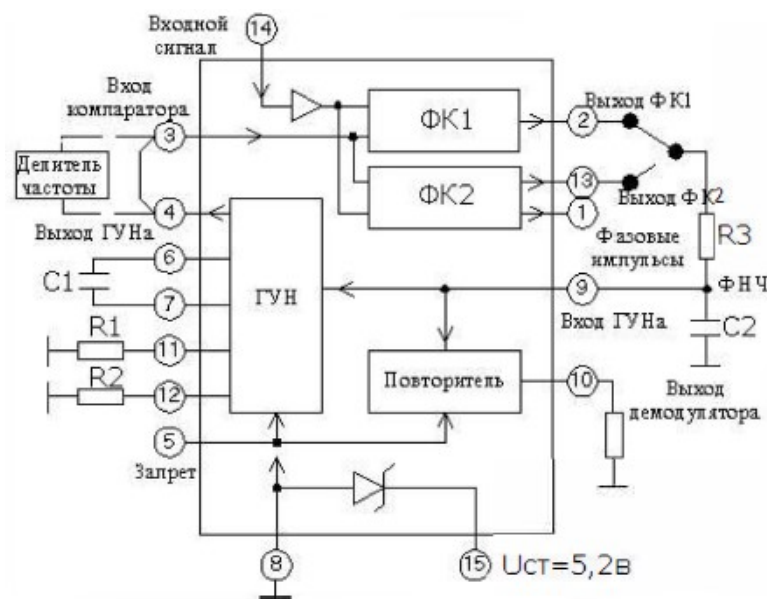


Рис.3.2. Типова схема включення мікросхеми CD4046N

3.2.3. Розробка підсилювача потужності.

За основу схеми підсилювача потужності було взято мікросхему UC3825. Типова схема підключення схеми зображена на рис.3.3. Додаткова інформація про мікросхему знаходиться в Додатку В.

Загальний опис мікросхеми UC3825.

Мікросхема ШІМ-контролера UC3825 розроблена спеціально для двотактних імпульсних джерел вторинного живлення (ДВЖ) з високою частотою перемикавання. Особливу увагу при цьому приділяли скороченню затримки розповсюдження сигналів через компаратори й логічні схеми та, разом з цим, розширенню смуги частот підсилювача каналу помилки і підвищення крутизни фронтів його сигналів. Контролер призначений для систем, що працюють зі зворотнім зв'язком по струму або по напрузі з можливістю відслідковування впливів вхідної напруги.

Схема захисту містить в собі компаратор струмового обмежувача з пороговою напругою, рівною 1 В, ТТЛ-сумісний порт вимкнення (вивід 9) і вивід «м'якого» запуску (вивід 8), який також дозволяє забезпечити фіксацію максимального значення робочого циклу. Логічна схема включає в себе ШІМ-фіксатор для запобігання нестійкої синхронізації і тремтіння імпульсів, а також для виключення ймовірності появи на виході здвоєних імпульсів або імпульсних пакетів. Схема блокування мікросхеми при недопустимо низькій вхідній напрузі має гістерезис, рівний 800 мВ, що забезпечує низький пусковий струм. У випадку блокування мікросхеми при пониженні вхідної напруги вихід перемикається в високоімпедансний стан. Мікросхема ШІМ-контролера UC3825 має два квазікомплементарних вихідних каскади, розрахованих на значні перепади струму при роботі на ємкісне навантаження, наприклад таку, як потужний польовий транзистор з ізольованим затвором. Включеному стану виходів відповідає високий логічний рівень напруги [17].

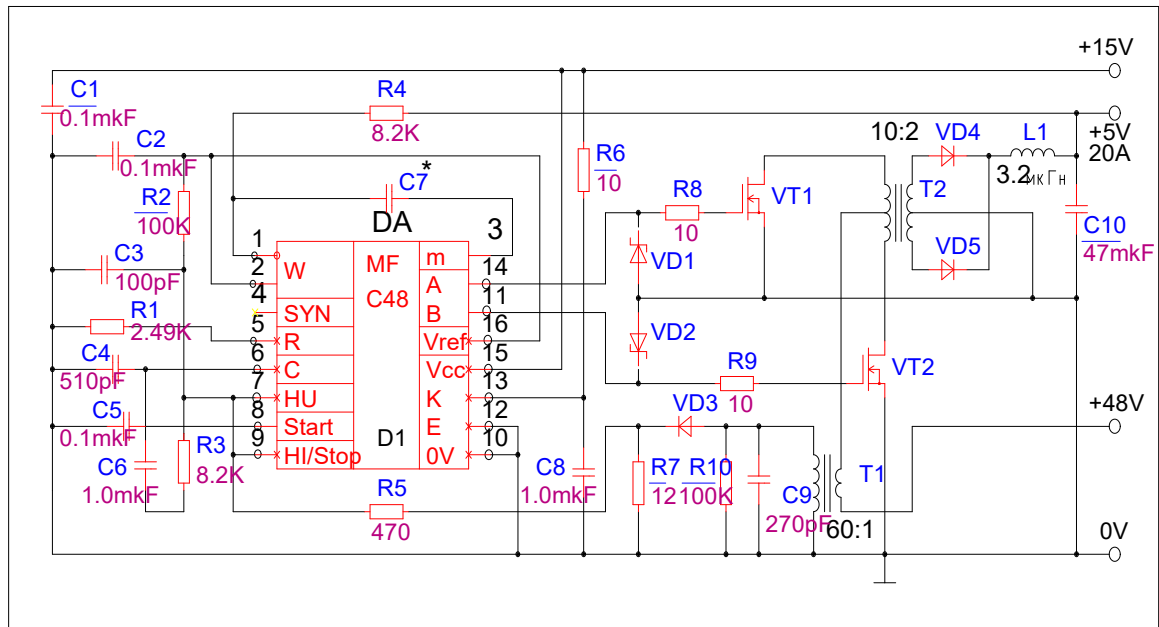


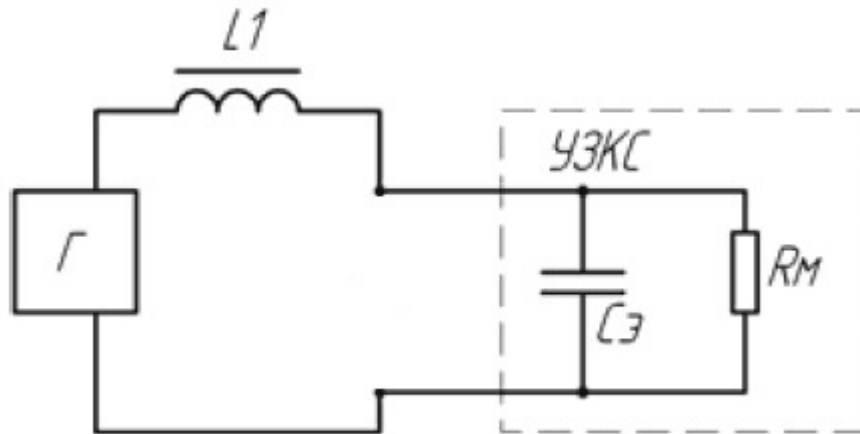
Рис.3.3. Типова схема включення мікросхеми UC3825

3.3. Розрахунок різних схем узгодження

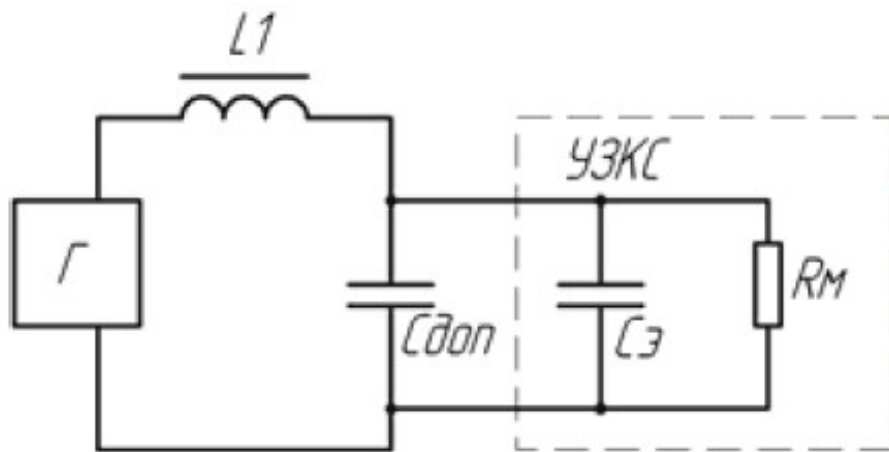
Для узгодження ультразвукового генератора з коливальною системою було розглянуто та змодельовано у середовищі Multisim наступні три схеми. Перша схема (рис.3.4.а) являє собою коло, де навантаження узгоджується з генератором тільки за допомогою однієї котушки індуктивності L1. Друга схема (рис. 3.4.б) являє собою одиночний коливальний контур, де навантаження, підключається паралельно конденсатору. Схема третього типу (рис.3.4.в) являє собою два з'єднаних коливальних контури, один з яких являється послідовним, другий – паралельним. УЗКС включається в коло паралельно коливальному контуру.

Для моделювання схем узгодження номінали коливальної системи беремо безпосередньо з розрахованого стержневого п'єзокерамічного перетворювача.

$$C_0 = \frac{2\varepsilon_0\varepsilon_{33}''S_1}{d_1} = 4,93 \cdot 10^{-9} \Phi, \quad R_{ex} = \frac{2r_{m6}E_{33}^2d_1^2}{d_{33}^2S_1^2} = 1,075 \text{ кОм}.$$



а)



б)

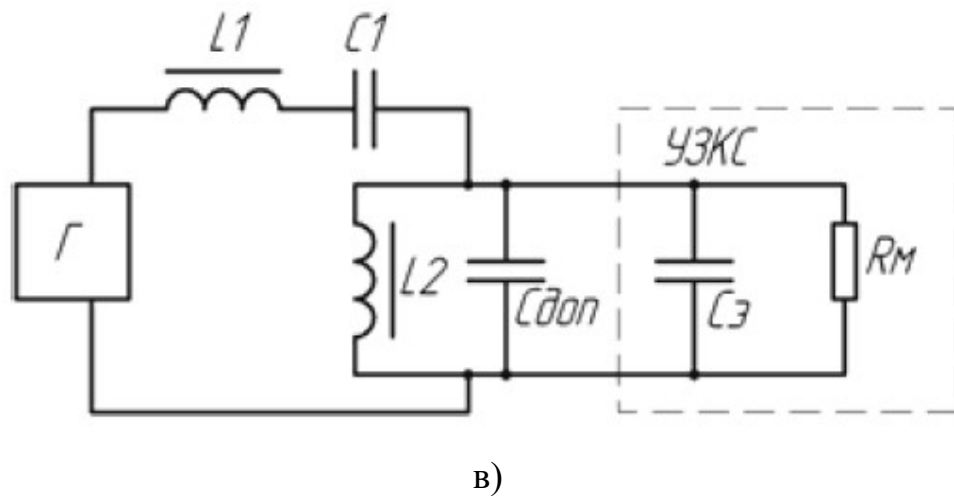


Рис. 3.4. Схеми узгодження електронного генератора з УЗКС

3.3.1. Розрахунок та моделювання схеми з додатковою індуктивністю та ємністю

Для розрахунку схем узгодження робимо наступне: підбираємо ємність C , а індуктивність розрахуємо за формулою $L = \frac{R_M^2 C}{1 + \omega^2 C^2 R_m}$. Для того, щоб правильно підібрати $C_{доп}$ змодельуємо дві схеми з додатковою ємністю та індуктивністю. У першому випадку приймаємо $C_{доп}$ рівну ємності коливальної системи, а в другому набагато більшу ніж ємність КС, приблизно у 10 разів.

У першому випадку маємо наступні дані:

$$L' = \frac{1075^2 \cdot 9,93 \cdot 10^{-9}}{1 + (2\pi \cdot 22000)^2 \cdot (9,93 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 1075} = 11,4 \text{ мГн.}$$

Моделюємо схему та отримуємо відповідні осцилограми та амплітудно-частотну характеристику. Як бачимо резонансна частота нас не задовільняє, оскільки вона менша за необхідну.

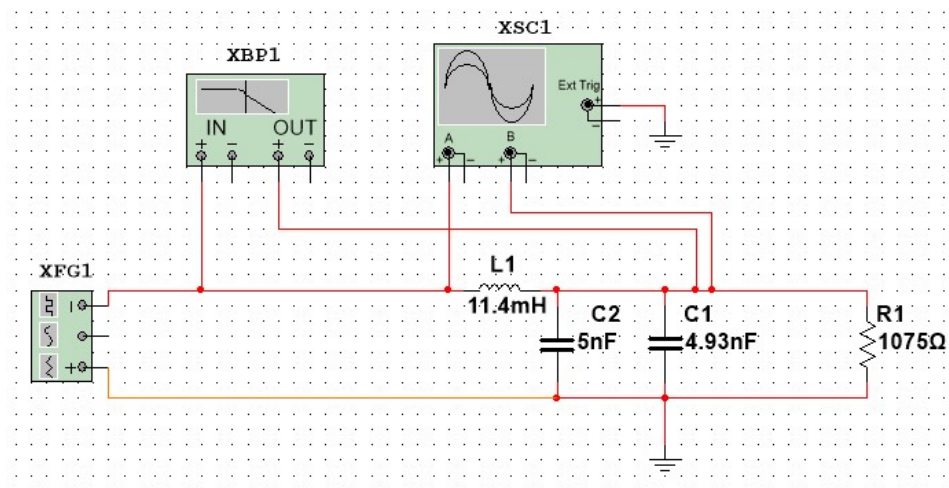


Рис.3.6. Підключення схеми з додатковою індуктивністю та ємністю, рівною ємності перетворювача

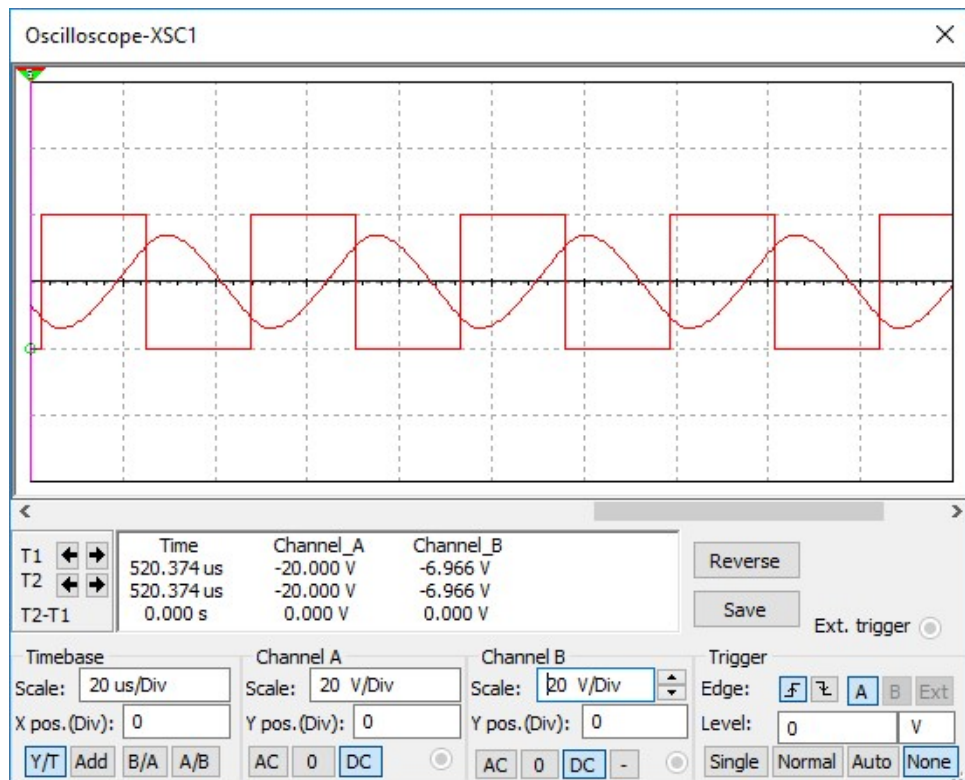


Рис.3.7. Осцилограми виходу генератора та входу коливальної системи у схемі з додатковою індуктивністю та ємністю, рівною ємності перетворювача

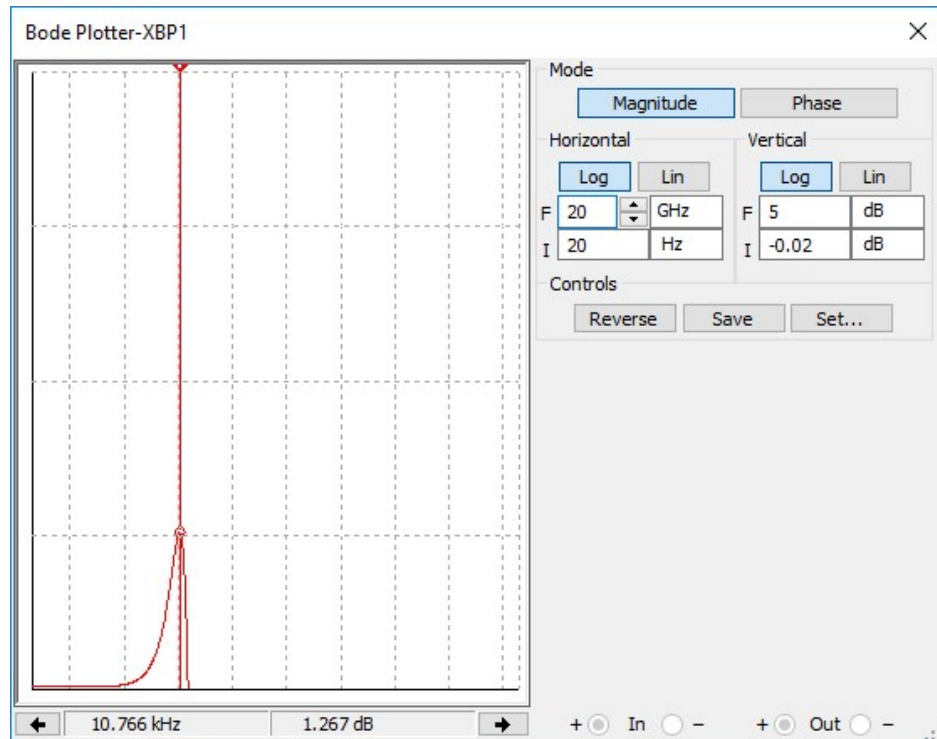


Рис.3.8. АЧХ схеми з додатковою індуктивністю та ємністю, рівною ємності перетворювача

У другому випадку маємо наступні дані:

$$L'' = \frac{1075^2 \cdot 54,93 \cdot 10^{-9}}{1 + (2\pi \cdot 22000)^2 \cdot (54,93 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 1075} = 0,94 \text{ мГн.}$$

Проводимо моделювання як і в першому випадку. І як бачимо, другий варіант нам підходить, оскільки ми отримуємо нашу резонансну частоту. Також бачимо, що збільшилася амплітуда вхідного сигналу коливальної системи, а це означає, що добротність збільшилася.

Після отриманих розрахунків моделюємо відповідну схему та отримуємо осцилограми і АЧХ.

З отриманої АЧХ розраховуємо ширину резонансної смуги та добротність.

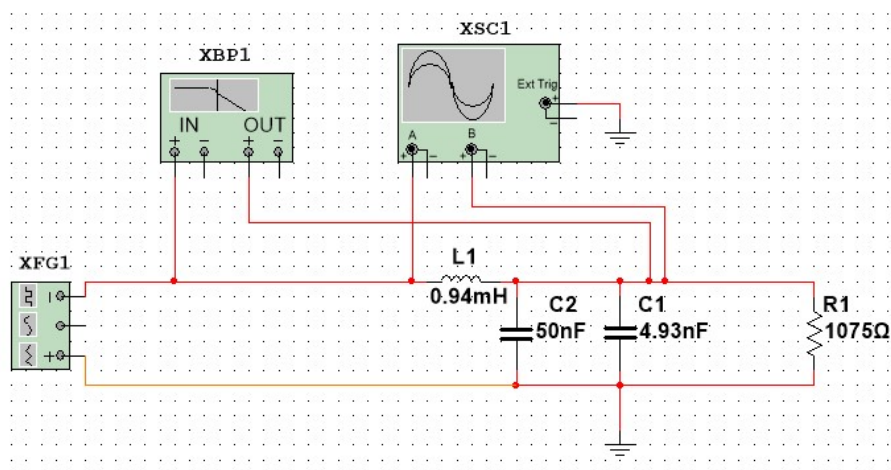


Рис.3.9. Підключення схеми з додатковою індуктивністю та ємністю, набагато більшою за ємність перетворювача



Рис.3.10. Осцилограми виходу генератора та входу коливальної системи у схемі з додатковою індуктивністю та ємністю, набагато більшою за ємність перетворювача

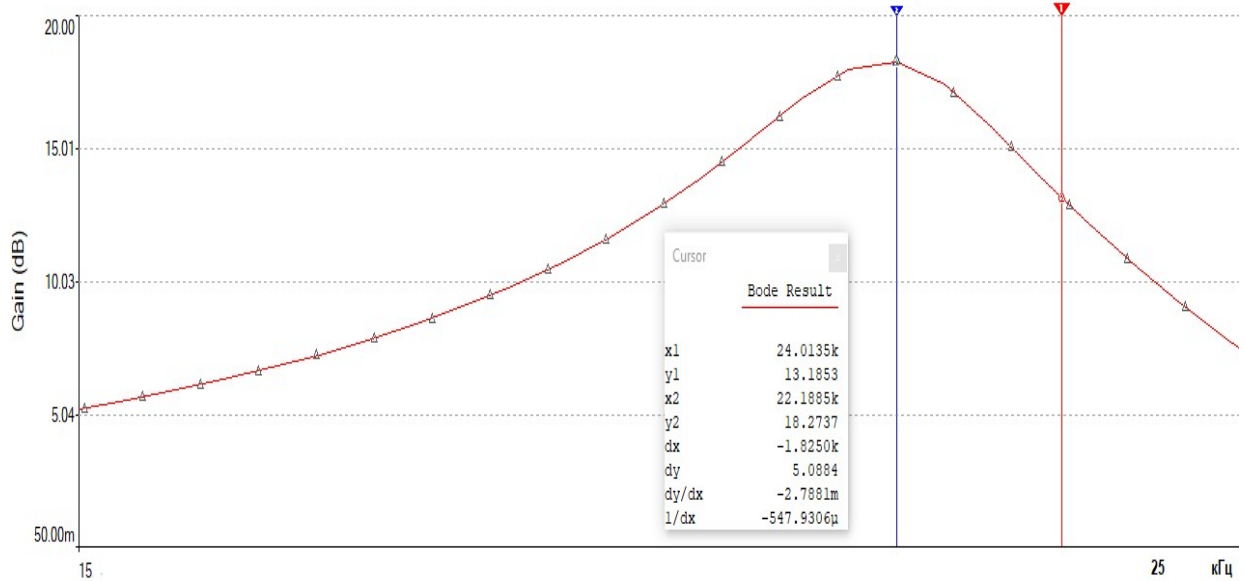


Рис.3.11. АЧХ схеми з додатковою індуктивністю та ємністю, набагато більшою за ємність перетворювача

$$f_0 = 22,19 \text{ кГц};$$

$$f_1 = 19,83 \text{ кГц};$$

$$f_2 = 24,01 \text{ кГц};$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 4,18 \text{ кГц};$$

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 5,3.$$

3.3.2. Розрахунок та моделювання схеми з додатковою індуктивністю

Як і для поперенної схеми розраховуємо індуктивність та моделюємо схему.

$$L = \frac{1075^2 \cdot 4,93 \cdot 10^{-9}}{1 + (2\pi \cdot 22000)^2 \cdot (4,93 \cdot 10^{-9})^2} = 5,6 \text{ мГн}.$$

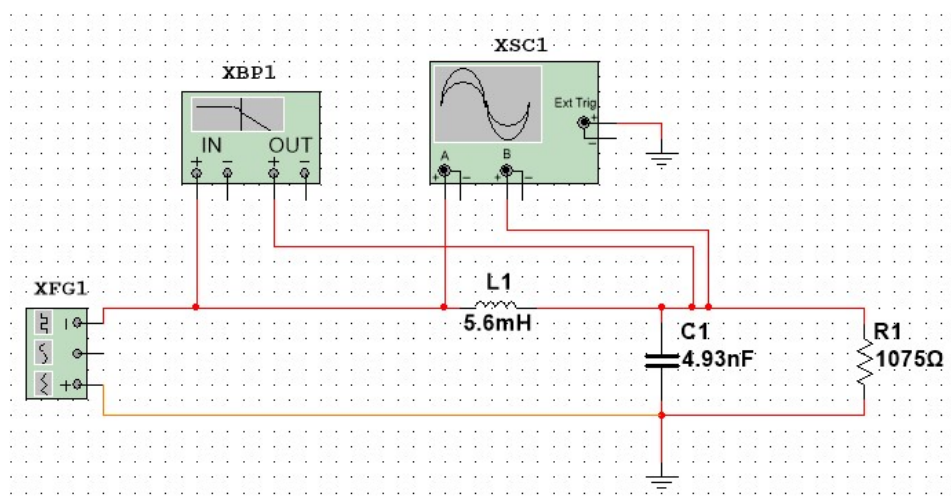


Рис.3.12. Підключення схеми з додатковою індуктивністю

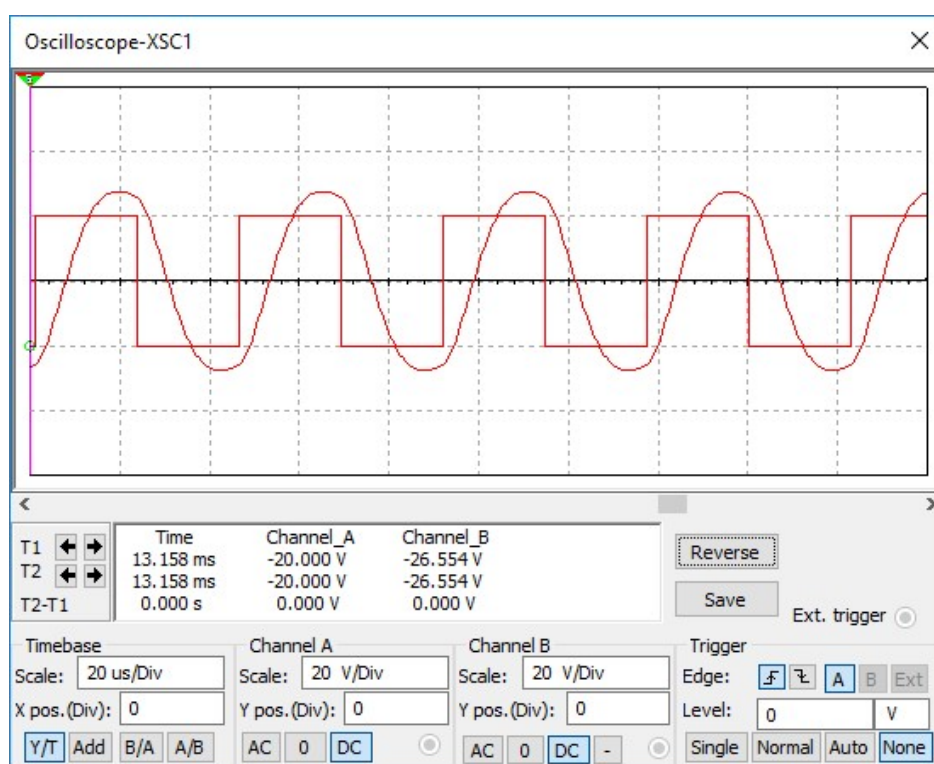


Рис.3.13. Осцилограми виходу генератора та входу коливальної системи у схемі з додатковою індуктивністю

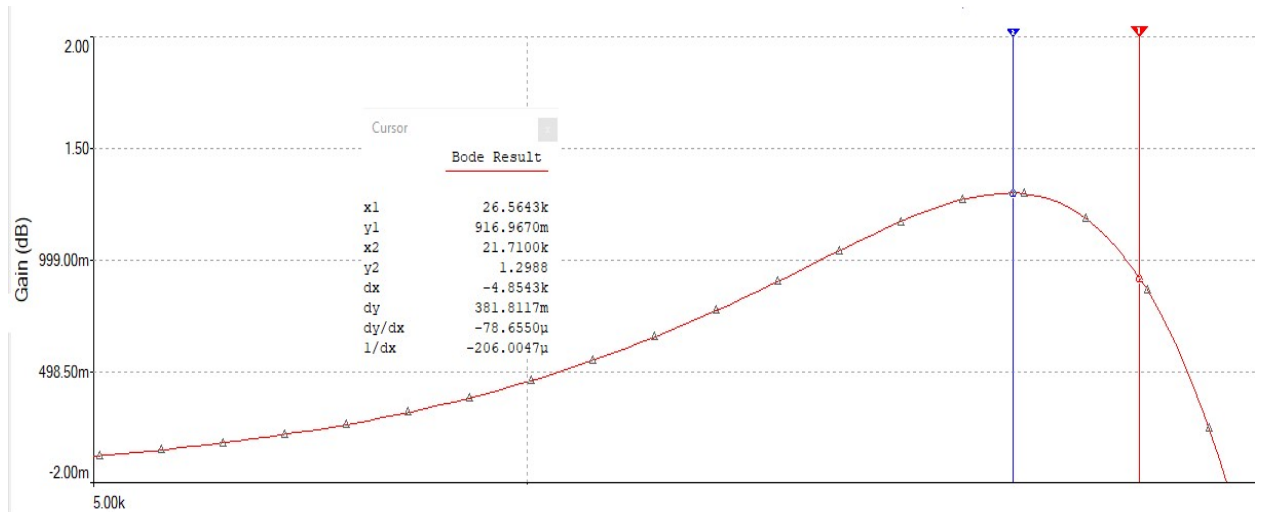


Рис.3.14. АЧХ схеми з додатковою індуктивністю

З отриманої АЧХ знаходимо ширину резонансної смуги та добротність.

$$f_0 = 21,71 \text{ кГц};$$

$$f_1 = 15,92 \text{ кГц};$$

$$f_2 = 26,56 \text{ кГц};$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 10,64 \text{ кГц};$$

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 2,4.$$

3.3.3. Розрахунок та моделювання схеми з додатковими послідовним на паралельним коливальними контурами

Номінали паралельного контуру обираємо такі ж як і в схемі з додатковими ємністю та індуктивністю, а номінали послідовного контуру обираємо шляхом підбору для отримання найбільш близького значення резонансної частоти. Підбір робимо безпосередньо під час моделювання.

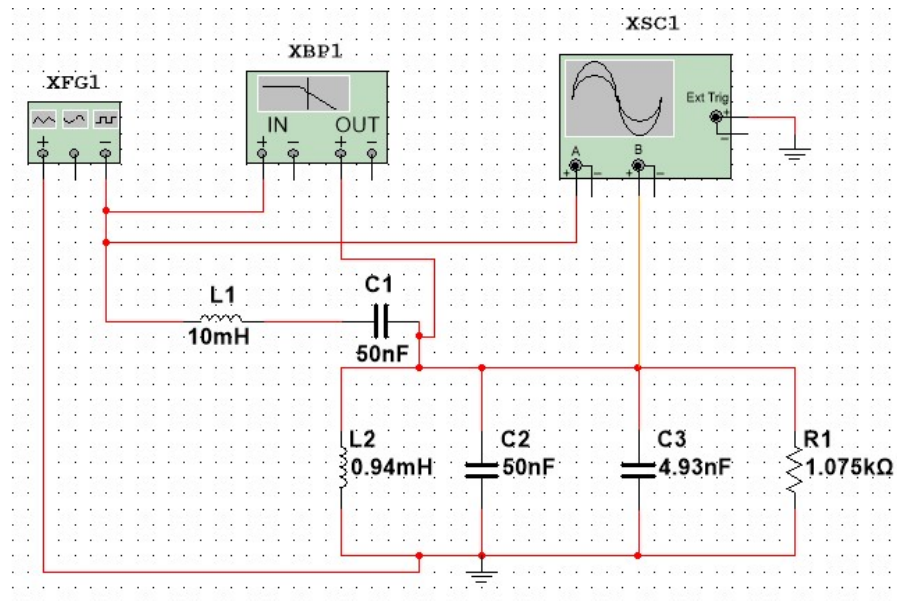


Рис.3.15. Підключення схеми з додатковими паралельним та послідовним коливальними контурами



Рис.3.16. Осцилограми виходу генератора та входу коливальної системи у схемі з додатковими паралельним та послідовним коливальними контурами

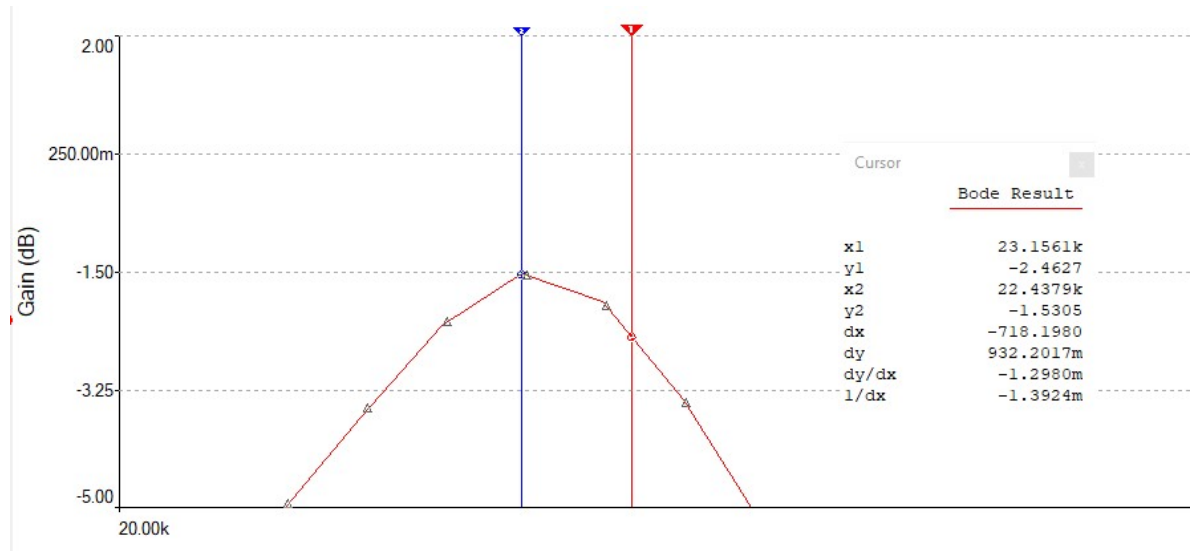


Рис.3.17. АЧХ схеми з додатковими паралельним та послідовним коливальними контурами

З отриманої АЧХ розраховуємо ширину смуги резонансу та добротність.

$$f_0 = 22,44 \text{ кГц};$$

$$f_1 = 21,78 \text{ кГц};$$

$$f_2 = 23,15 \text{ кГц};$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 1,37 \text{ кГц};$$

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 16,4.$$

Розрахувавши та змодельовавши всі три схеми узгодження був отриманий наступний результат. Схема з додатковою індуктивністю має надто широку смугу резонансу та малу добротність. Що стосується інших двох схем, то схема з додатковими індуктивністю та ємністю має необхідну нам ширину смуги резонансу, а схема з додатковими коливальними контурами має ширину смуги вужчу, проте має набагато більшу добротність.

Так як нам необхідно працювати в певному частотному діапазоні, то нашим варіантом узгодження буде схема з додатковими індуктивністю та ємністю.

3.4. Загальна електрична принципова схема УЗГ

У попередніх пунктах дипломної роботи було показано та описано принцип роботи окремих модулів електричної принципової схеми. Сама ж цілісна схема представлена на рис. 3.5.

Живиться даний генератор від однофазної мережі, змінної напруги 220 В, 50 Гц. З двох обмоток трансформатора напруга надходить на випрямляч, яка згладжується конденсатором і надходить на стабілізатори. Один – індикатор живлення, а інший регулятор напруги (10-60 В), для регулювання потужності на виході приладу. З РН напруга надходить на середню точку трансформатора Т2, двотактного підсилювача потужності. Друга напруга надходить на схеми живлення ШІМ-контролера та ФАПЧ.

П'єзокерамічний перетворювач працює на резонансній частоті. На резонансній частоті зсув фаз між напругою та струмом максимально близький до нуля. ПКП приймає активний характер. Інформація по напрузі береться з генератора, а по струму з датчика струму, який стоїть недалеко від ПКП. Коли зсув фаз наближається до нуля, то ФАПЧ перестає сканувати частоту. Як тільки зміниться умова резонансу ПКП, то ФАПЧ знову сканує частоту резонансу. В цьому і полягає вся суть даного УЗ генератора.

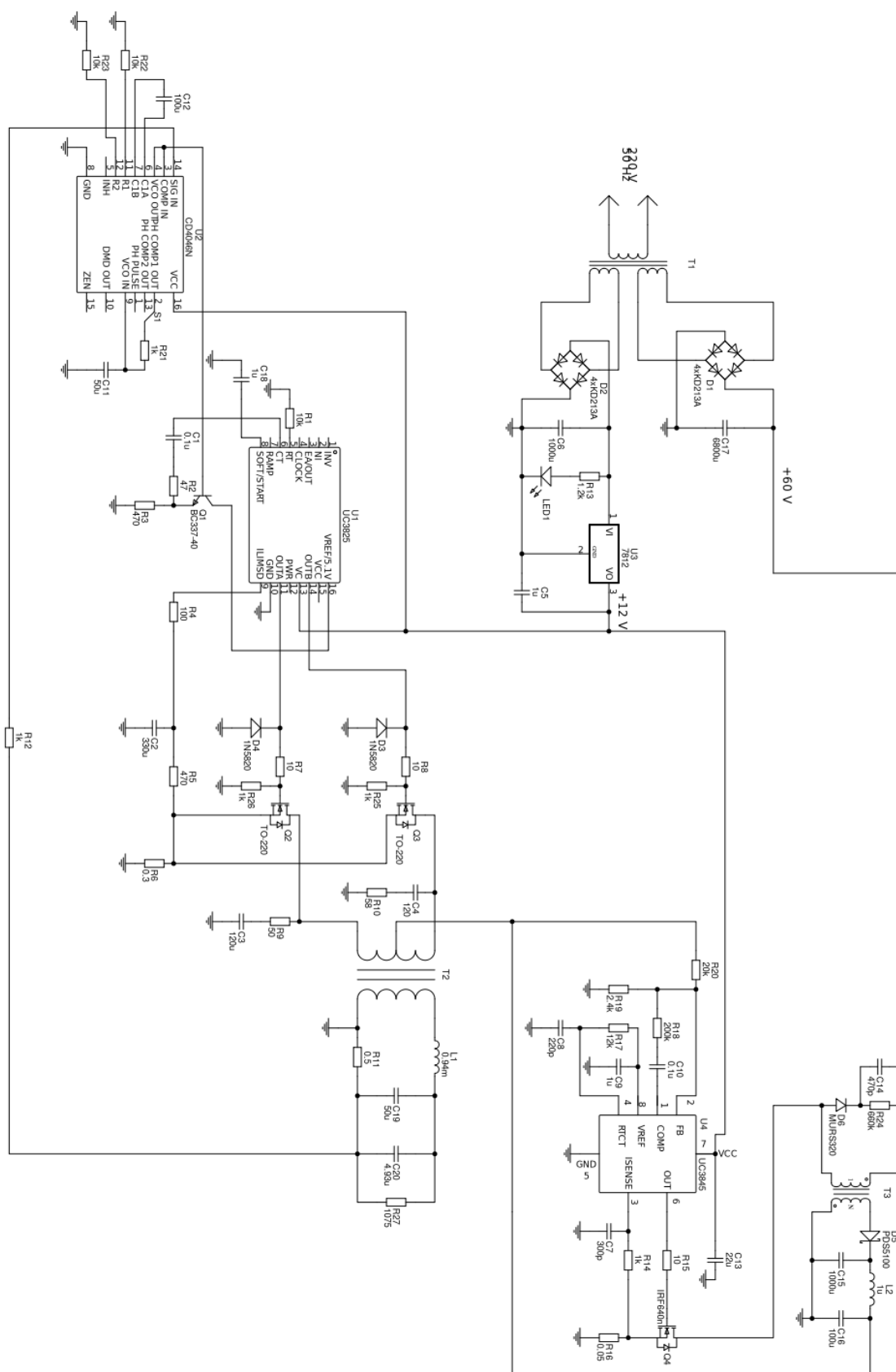


Рис. 3.5. Електрична принципова схема УЗГ

3.5. Висновки до Розділу 3

В даному розділі було розроблену електричну принципову схему електронного генератора. За зразок перетворювача для розрахунків було взято стержневий перетворювач з робочою частотою 22 кГц. Розраховано блок фазового автопідлаштування частоти, який дає змогу підлаштовуватися під зміни акустичного навантаження коливальної системи. Розглянуті схеми електричного узгодження були розраховані та змодельовані. Стало зрозуміло, що необхідно використовувати додаткові ємності та індуктивності для досягнення узгодження. З трьох розглянутих схем найкращим варіантом для нашого генератора буде схема з додатковими ємністю та індуктивністю, оскільки ширина смуги резонансу нас задовільняє.

РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ

«Електронний генератор для ультразвукових технологічних апаратів»

Електронний генератор для ультразвукових технологічних апаратів являє собою ультразвуковий пристрій для роботи з п'єзокерамічними перетворювачами. Призначений для застосування в різних сферах людської діяльності, таких як медицина, металургія, будівництво, обробка твердих та крихких матеріалів, рідин

Актуальність проекту

- Розвиток використання ультразвукових технологій
- Необхідність вирішення недосконалості роботи окремих вузлів ультразвукових генераторів
- Поширення використання ультразвукових генераторів Українського аналога даного приладу поки не було опубліковано

Які проблеми ринку вирішує продукт стартапу:

- Проблеми автопідлаштування частоти
- Неоптимальні режими узгодження генератора та коливальної системи, що зараз використовуються

Аналіз ринку: конкуренти, їх продукція, в чому переваги і недоліки продукції конкурентів.

Конкуренти:

- Україна: немає
- Світ: близько 10 компаній

Погружний ультразвуковий генератор ПГ-300 призначений для генерації високочастотних ультразвукових коливань в рідинах.



Рис.4.1. Зовнішній вигляд ПГ-300

Конструкція і технічні характеристики:

Напруга: 220 В \pm 10%

Потужність: від 150 до 2000 Вт

Вимоги до навколишньої температури: 0-40 ° С

Відносна вологість: 40% - 90%

Робоча частота: 28 кГц

Діапазон установки часу роботи: 0 - 59 хвилин 59 секунд

Діапазон установки потужності: 0 - 100% (16 кроків)

Габарити генератора: від 240х140х220

Перевагами даного генератора є:

- Відносно невеликі геометричні розміри;
- Широкий діапазон потужності ;

Недоліками генератора є:

- Відсутність автопідлаштування частоти;
- Відсутність блоку узгодження.

Сутність ідеї стартапу. Сутність технічного рішення стартапу, конкурентні переваги продукту

- Ідея полягає в тому, щоб створити універсальний електронний генератор для використання у різних сферах людської діяльності

- Використання функції автопідлаштування частоти для забезпечення максимальної ефективності роботи при зміні умов резонансу перетворювача
- Використання блоку узгодження, що дає змогу досягти максимальної ефективності роботи при підключенні генератора та коливальної системи
- Продукт є українським, що позитивно вплине на розвиток економіки

Хто є споживачем продукції і в чому полягає ціннісна пропозиція

Споживачі:

- Медичні заклади та установи
- Промислові підприємства
- Підприємства харчової промисловості
- Науково-дослідні інститути

Ціннісна пропозиція:

- економія коштів на придбання генератора через дешевшу елементну базу
- створення якісного та надійного обладнання

Канали збуту продукції

- Дистрибуція через Інтернет(товари першої групи)

Заходи маркетингового просування продукції проекту

- Реклама на сайтах з продажу ультразвукової апаратури
- Реклама на сайтах курсів з електроніки
- Виставки ультразвукової апаратури

Обґрунтування бізнес моделі

Бізнес-модель даного програмного забезпечення ґрунтується на ідеї невисокої ціни на продукт:

- Елементна база підбирається за максимально низькою ціною
- Можливість підбору перетворювача відповідної частоти
- Низька енергозатратність при відносно великій ефективності

Класифікація ризиків нового продукту

Таблиця 4.1. Класифікація ризиків нового продукту

№	Об'єкт	Визначення	Приклад
1	Внутрішні ризики		
1.1	Підбір елементної бази	Неточності в розрахунках елементів, що використовуватимуться для створення генератора	Розрахований номінал котушки індуктивності не відповідає умові узгодження
1.2	Проведення експериментальних досліджень	Відсутність необхідних умов для проведення розробки	Застаріле обладнання
2	Зовнішні ризики		
2.1	Науково-технічний прогрес	Ризики, що виникають у тривалих, негнучких проектах та пов'язані з розвитком нових, кращих технологій до завершення проекту	Розробка нової мікросхеми чи елемента, що значно покращить роботу генератора

2.2	Зовнішня економіка	Ризики, пов'язані з валютними операціями, зовнішньоекономічними контрактами.	Введення змін на макроекономічному рівні, що матиме вплив на виконання дійсних міжнародних контактів
-----	--------------------	--	--

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було розроблено універсальний електронний генератор для ультразвукових технологічних апаратів.

У першому розділі було проведено огляд технічної літератури на рахунок областей застосування ультразвукових генераторів. Також були розглянуті сучасні ультразвукові апарати з УЗГ. Було проведене їх порівняння за такими параметрами як робоча частота, номінальна вихідна напруга та потужність. Розглянуті їх додаткові функції.

У другому розділі були проаналізовані особливості побудови ультразвукових генераторів та огляд їх схемних рішень. Проведений аналіз та детальний опис існуючих систем автопідлаштування частоти. Розглянуті проблеми необхідності використання електричного узгодження. Розроблено структурну схему ультразвукового генератора.

У третьому розділі була розроблена електрична принципова схема генератора. Розрахований стержневий п'єзокерамічний перетворювач з робочою частотою 22 кГц. На основі розрахованої індуктивності та ємності були розраховані та змодельовані три схеми електричного узгодження: з додатковою індуктивністю, додатковою ємністю та індуктивністю і додатковими паралельним та послідовним коливальними контурами. Згідно отриманих АЧХ розраховані смуги резонансних частот та добротність даних схем. Прийнято рішення використати у генераторі як блок узгодження схему з додатковою ємністю та індуктивністю, оскільки ширина смуги $\Delta f = 4,18 \text{ кГц}$ дозволить нам працювати у діапазоні $22 \pm 2 \text{ кГц}$.

У четвертому розділі було розроблено стартап-проект електронного генератора для ультразвукових технологічних апаратів.

Тему магістерської дисертації вважаю актуальною, оскільки ультразвукові технології та зокрема ультразвукові генератори затребуваними у різних галузях діяльності людини.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Оптимизация энергообеспечения ультразвуковых технологических аппаратов [Электронный ресурс] / В. Н. Хмелев, Д. Ю. Матыцин, Р. В. Барсуков. – Электрон. текстовые дан. – Бийск: [б.и.]. – Режим доступа: <http://u-sonic.ru/science/pubs/optimizatsiya-energoobespecheniya-ultrazvukovykh-tekhnologicheskikh-apparatov/>, вільний.
2. Донской А.В., Келлер О.К., Кратыш Г.С. Ультразвуковые электротехнологические установки Л.: Энергоиздат, 1982. — 208 с.
3. Развитие ультразвуковых технологий, разработка и исследование многофункциональных и специализированных ультразвуковых аппаратов [Электронный ресурс] / В. Н. Хмелев, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок– Электрон. текстовые дан. – Бийск: [б.и.]. – Режим доступа: <http://u-sonic.ru/science/pubs/razvitie-ultrazvukovykh-tekhnologii-razrabotka-i-issledovanie-mnogofunktsionalnykh-i-spetsializ/>, вільний.
4. Vladimir N. Khmelev, Roman V. Barsukov, Andrey V. Shalunov, Alexey N. Slivin, Sergey N. Tchyganok The System of Checking and Operating Power of Ultrasonic Technological Apparatus. – Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices an Materials EDM'2001: Workshop Processing, 2001.
5. ООО "НПП "Академприбор". - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://akadempribor.prom.ua/p10651193-pogruzhnoj-ultrazvukovoj-generator.html>, вільний.
6. Heneratory. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://heneratory.com/seriya-ultrazvukovih-generatoriv-visokoyi-potuzhnosti-uzg-10-tov-ultra-rezonans/>, вільний.
7. Миконт. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mikont.com/ua/products/uzg.html>, вільний.

8. НПП "АВИАСТЭК". – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aviastek.ru/info/uzg641.html>, вільний.
9. Контроль параметров ультразвуковых генераторов для определения оптимальных режимов ультразвукового воздействия на различные среды [Электронный ресурс] / В. Н. Хмелев, Р. В. Барсуков, Д. С. Абраменко, Генне Д. В. – Электрон. текстовые дан. – Бийск: [б.и.]. – Режим доступа: <http://u-sonic.ru/science/pubs/kontrol-parametrov-ultrazvukovykh-generatorov-dlya-opredeleniya-optimalnykh-rezhimov-ultrazvuko/>, вільний.
10. Повышение качества работы УЗ технологических аппаратов на примере процесса сварки тонких листовых материалов [Электронный ресурс] / Барсуков Р.В., Абраменко Д.С., Ильченко Е.В. – Электрон. текстовые дан. – Бийск: [б.и.], 2011. – Режим доступа: <http://u-sonic.ru/science/pubs/povyshenie-kachestva-raboty-uz-tekhnologicheskikh-apparatov-na-primere-protsesta-svarki-tonkikh/>, вільний.
11. В.Н. Лясникова Ультразвуковые процессы и аппараты в биологии и медицине [Текст] / СГТУ – Саратов, 2005 г.
12. Капланов М.Р., Левин В.А. Автоматическая подстройка частоты 2-е изд., доп. — М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1956. - 200 с.
13. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А. Системы фазовой автоподстройки частоты. М., Изд-во «Связь», 1972. - 448 с.
14. Бондаренко В.Г. RC_генераторы синусоидальных колебаний. – а. М.: Связь, 1976. – 208 с.
15. Под ред. Н. И. Чистякова. Справочная книга радиолюбителя-конструктора Серия "Массовая радиобиблиотека", выпуск 1147. — Москва: Радио и связь, 1990. — 622 с.
16. Слепов Н. Н., Дроздов Б. В. Широотно — імпульсна модуляція: Під ред. А. А. Булгакова. — М.: Енергія, 1978. — 192 с.

17. Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. Издание 2-е. – М.: ДОДЭКА, 2000. – 608 с.
18. Зернов Н.В., Карпов В. Г. Теория радиотехнических цепей. –Л.: Энергия, 1972. – 816 с.
19. Хмелев В.Н., Леонов Г.В., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Шалунов А.В. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве. – Бийск: АлтГТУ, 2007. – 414 с.

Додаток А

Опис та технічні характеристики мікросхеми UC3845

Особливості мікросхеми UC3845:

- призначена для мережевих джерел живлення;
- низький пусковий струм – 1мА;
- автоматична компенсація зворотного зв'язку по напрузі;
- обмеження струму в кожному імпульсі;
- покращення навантажувальної характеристики;
- схема захисту з гістерезисом для вимкнення при недопустимо низькій вхідній напрузі;
- подавлення здвоєних імпульсів;
- робоча частота перемикавання – до 500кГц;
- вбудоване джерело опорної напруги.

Пластмасовий корпус типу DIP-8 зображений на рис.



Рис. А.1. Корпус мікросхеми UC3845

Виводи мікросхеми UC3845:

- 1- вхід компаратора;
- 2- вхід зворотного зв'язку;
- 3- вхід контролю струму;
- 4- частото задаюче коло;
- 5- загальний вивід;
- 6- вихід;
- 7- напруга живлення;
- 8- опорна напруга.

Максимальні значення параметрів і режимів:

- напруга живлення – 30 В;
- вихідний струм - ± 1 А;
- вихідна енергія – 5 мкДж;
- аналогові входи (виводи 2 та 3) - -3...+6.3 В;
- вихідний стоковий струм підсилення сигналу похибки – 10 мА;
- потужність розсіювання – 1 Вт;
- діапазон температури зберігання - -65...+150° С.

Додаток Б

Опис та технічні характеристики мікросхеми CD4046N

Особливості мікросхеми CD4046N:

- дуже низьке енергоспоживання;
- робочий діапазон частот до 1,4 МГц;
- низький дрейф частоти;
- вибір з двох фазових компараторів;
- висока лінійність ГКН;
- блокування управління ГКН для ввімкнення-вимкнення маніпуляції і низьке споживання потужності в режимі очікування;
- присутній регульований стабілітрон;
- стандартизовані, симетричні вихідні характеристики.

Пластмасовий корпус типу DIP-16 зображений на рис.

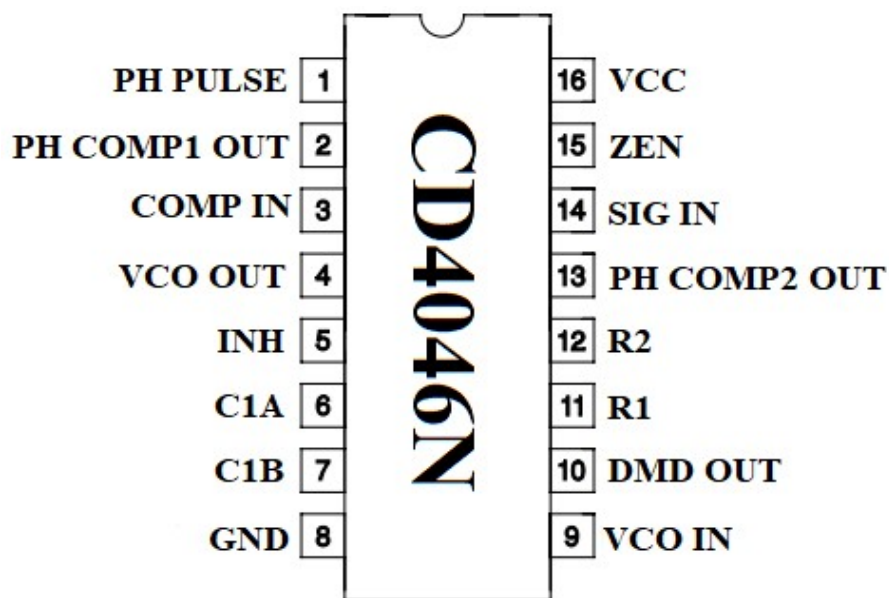


Рис. Б.1. Корпус мікросхеми CD4046N

Виводи мікросхеми UC3825:

- 1- вихід;
- 2- вихід ФК1;
- 3- вхід ФК1 та ФК2;
- 4- вихід ГКН;
- 5- вихід навантаження;
- 6- вхід С1;
- 7- вихід С1;
- 8- загальний вивід;
- 9- вхід ГКН;
- 10- вихід демодулятора;
- 11- вхід R1;
- 12- вхід R2;
- 13- вихід ФК2;
- 14- вхідний сигнал;
- 15- вихід стабілітрона;
- 16- вхід напруги живлення.

Максимальні значення параметрів і режимів:

- напруга живлення – 20 В;
- вихідний струм – 10 мА;
- діапазон температур зберігання – $-65...+150^{\circ}\text{C}$.
- потужність розсіювання – 0,5 Вт;
- діапазон температури зберігання - $-65...+150^{\circ}\text{C}$.

Додаток В

Опис та технічні характеристики мікросхеми UC3825

Особливості мікросхеми UC3825:

- працює зі зворотнім зв'язком як по напрузі, так і по струму;
- робоча частота перемикавання – до 1 МГц;
- затримка розповсюдження сигналів по усьому тракту – 50 нс;
- струм квазікомплементарного вихідного каскаду – до 1,5 А;
- смуга підсилення сигналу помилки – 5,5 МГц;
- ШІМ-фіксатор із засобами подавлення здвоєних імпульсів;
- відслідковування струмового обмеження в кожному імпульсі;
- спеціальний вивід «м'якого» запуску;
- обмеження максимальної величини робочого циклу;
- схема блокування при недопустимо низькій вхідній напрузі;
- малий пусковий струм – 1,1 мА;
- температурний діапазон – 0...+70°C;
- підстроєне джерело опорної напруги – 5,1 В.

Пластмасовий корпус типу DIP-16 зображений на рис.

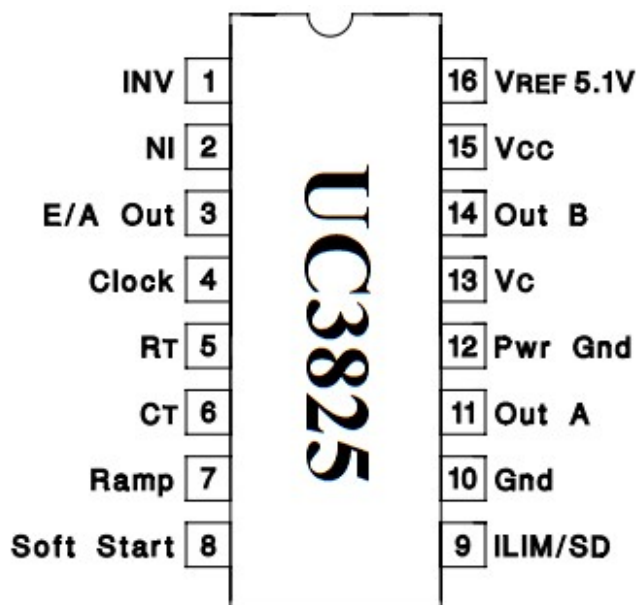


Рис. В.1. Корпус мікросхеми UC3825

Виводи мікросхеми UC3825:

- 1- інвертуючий вхід підсилювача похибки;
- 2- неінвертуючий вхід підсилювача похибки;
- 3- вихід підсилювача похибки;
- 4- вихід тактової частоти;
- 5- частотозадаючий резистор;
- 6- частотозадаючий конденсатор;
- 7- вхід пилоподібної напруги;
- 8- «м'який» запуск;
- 9- блокування по струму;
- 10-загальний вихід;
- 11- вихід А;
- 12- лінія повернення для вихідного струму;
- 13- напруга живлення виходу;
- 14- вихід В;
- 15- напруга живлення;
- 16- опорна напруга.

Максимальні значення параметрів і режимів:

- напруги живлення(виводи 13,15) – 30В;
- вихідний струм, витоковий і стоковий (виводи 11,14):
постійний струм – 0,5 А;
імпульс (тривалість 0,5 мкс) – 2 А;
- аналогові входи (виводи 1, 2, 7, 8, 9) – 0,3 – 6 В;
- вихідний струм тактування (вивід 4) – -5 мА;
- вихідний струм підсилювача сигналу помилки(вивід 3) – 5 мА;
- витоковий струм схеми «м'якого» запуску(вивід 8) – 7 мкА;
- заряджаючий струм генератора(вивід 5) – -5 мА;
- потужність розсіювання при $T_A = 60^\circ\text{C}$ - 1 Вт;
- діапазон температур зберігання – -65...+150°C.